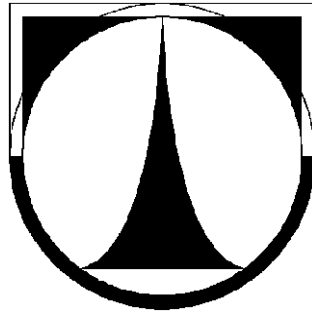


Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní



Jan Ponikelský

NÁVRH LINKY PRO APRETACI TLAKOVĚ LITÝCH HLINÍKOVÝCH DÍLŮ

Diplomová práce

2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor : Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření : Obráběcí a montážní stroje

**NÁVRH LINKY PRO APRETACI TLAKOVĚ LITÝCH
HLINÍKOVÝCH DÍLŮ
THE DESIGN OF THE PRODUCTION LINE FOR FINISHING
OPERATION OF DIE-CAST ALUMINIUM PARTS**

KVS - OS - 323

Jan Ponikelský

Vedoucí práce : Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Počet stran : 50

Počet příloh : 12

Počet obrázků : 29

Počet tabulek : 3

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

V Liberci 6.1.2012

**TÉMA : NÁVRH LINKY PRO APRETACI TLAKOVĚ LITÝCH
HLINÍKOVÝCH DÍLŮ**

Práce shrnuje informace o lití hliníku, zvláště dokončovacích operací - ostřihování, odvrtávání, omílání, řezání, o nezbytném využití ruční práce u dokončovacích operací. Zabývá se možností zavedení nové linky, stanovení parametrů výrobků pro rozřazení k jednotlivým strojům, jejím konstrukčním návrhem a vyhodnocením zkušebního provozu.

**THEME : THE DESIGN OF THE PRODUCTION LINE FOR FINISHING
OPERATION OF DIE-CAST ALUMINIUM PARTS**

The diploma thesis summarizes information about casting aluminium, especially finishing operations - trimming, drilling, vibratory finishing, cutting and about necessary usage of handwork during finishing operations. The thesis is focused on the option of installation of a new production line, determination of parameters of products for division to single machines, its construction design and the evaluation of the trial run.

Klíčová slova : Apretace, omílání, řezání, ostřihování

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 50

Počet příloh : 12

Počet obrázků : 29

Počet tabulek : 3

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Obsah

1	Seznam zkratk	8
2	Úvod.....	9
3	Cíl práce	10
4	Vysokotlaké lití.....	11
4.1	V historii a dnes	11
4.2	Principy vysokotlakého lití.....	11
4.3	Stroje pro tlakové lití	13
5	Dokončovací operace - apretace	14
5.1	Ostřihování	14
5.2	Odvrtávání	15
5.3	Řezání kotoučovými pilami.....	15
5.4	Omílací bubny	15
5.5	Ruční práce	15
6	Řešená problematika	16
6.1	Popis jednotlivých činností při výrobě	16
6.2	Popis současného stavu	18
6.2.1	Analýza času potřebného k výrobě	19
6.3	Základní představa layoutu licí buňky.....	21
6.3.1	Analýza vhodných výrobků	21
6.3.2	Analýza potřebných lidských zdrojů.....	23
6.3.3	Optimalizace.....	26
6.4	Návrh layoutu strojů	27
6.5	Návrh pracovišť	28
6.5.1	Změna způsobu přepravy a přepravovaného množství.....	29
6.5.2	Ergonomie a rozestavení licí buňky	30
6.5.3	Konečný návrh rozestavení pracoviště.....	31
6.6	Konstrukční prvky licí buňky	32
6.7	Návrh ochlazení vany.....	34
6.7.1	Výkon potřebný k chlazení	35
6.7.2	Výpočet sklonu.....	37
6.7.3	Návrh pneumotoru.....	39

6.8	Vyhodnocení zkušebního provozu	45
6.8.1	Praktické problémy	46
6.9	Odstranění nedostatků zjištěných při zkušebním provozu	46
7	Závěr	47
8	Seznam literatury	49
9	Seznam příloh	50

1 Seznam zkratek

PROE	Pro/ENGINEER Wildfire
KLT	Kleinladungsträge
TGP... ..	Technologický postup
OBR... ..	Obrázek
TAB... ..	Tabulka
SK... ..	Studená komora
TK... ..	Teplá komora

2 Úvod

Práce se zabývá změnou přístupu k výrobku. Ve slévárenské firmě POLAK s.r.o. fungoval složitý systém řízení, který byl závislý na jednotlivých rozhodnutích příslušných pracovníků, a to vyvolávalo velkou náročnost na organizaci výroby daného výrobku. V průběhu takto složitého systému řízení docházelo k chybám, a to ať zaviněným, či nikoli. Tím byly způsobeny ztráty, které si žádný podnik nemůže dovolit.

Vznikla tedy potřeba tento přístup změnit a vytvořit takový, který by lépe vyhovoval požadavkům a potřebám firmy. To vše za provozu a s minimálními náklady. Tyto požadavky splňovalo vytvoření jistého na zbytku firmy téměř nezávislého celku, který je schopen sdružit všechny výrobní prostředky, pomůcky a lidské zdroje tak, aby bylo možné dovést výrobek do požadovaného stavu, aniž by docházelo k prodlevám a dalším negativním vlivům, které byly s předchozím postupem výroby spojeny. Tento nezávislý celek byl pojmenován "licí buňka".

Aby nedošlo k narušení provozu celé firmy, byl vybrán jen segment celého provozu, na kterém se tato změna přístupu uplatnila.

3 Cíl práce

Cílem práce bylo seznámit se s historií tlakového lití, s technologiemi vysokotlakého lití hliníku a s dokončovacími operacemi nezbytnými pro odpovídající kvalitu odlitků požadovaných zákazníky.

Prvním z praktických bodů této práce, potřebným k vytvoření nezávislého lokálního pracoviště, bylo seznámení se skutečným stavem ve firmě POLAK s.r.o. Jednak z pohledu používaných technologií u jednotlivých činností ve výrobě, tak i strojů a jiných výrobních zařízení. Dále následovalo seznámení se stylem a způsobem práce ve výrobě.

Pro návrh nezávislého lokálního pracoviště lící buňky, bylo nezbytné vytvořit analýzu, která poskytla dostatečné množství informací o tom, zda je koncept lící buňky vhodný a v jakém rozsahu je tuto linku zapotřebí navrhnout.

Po této analýze bylo zapotřebí vytvořit návrh lící buňky, který bude obsahovat návrh jednotlivých komponentů. Do těchto komponentů patří návrh konstrukce zachlazovací vany společně s vyjímacím mechanismem a návrh výkonu potřebného k chlazení chladicí kapaliny. Dalším konstrukčním úkolem bylo vytvoření polohovatelných pracovišť s ohledem na ergonomii práce a kapacitní požadavky.

Posledním bodem této práce bylo zhodnocení činností s touto prací spojených, vyhodnocení míry zefektivnění výroby vlivem této lící buňky, přínosy a negativa s ní spojená. Dále rozebrání možností pro pozdější úpravu a rozšíření konceptu lokálních pracovišť.

4 Vysokotlaké lití

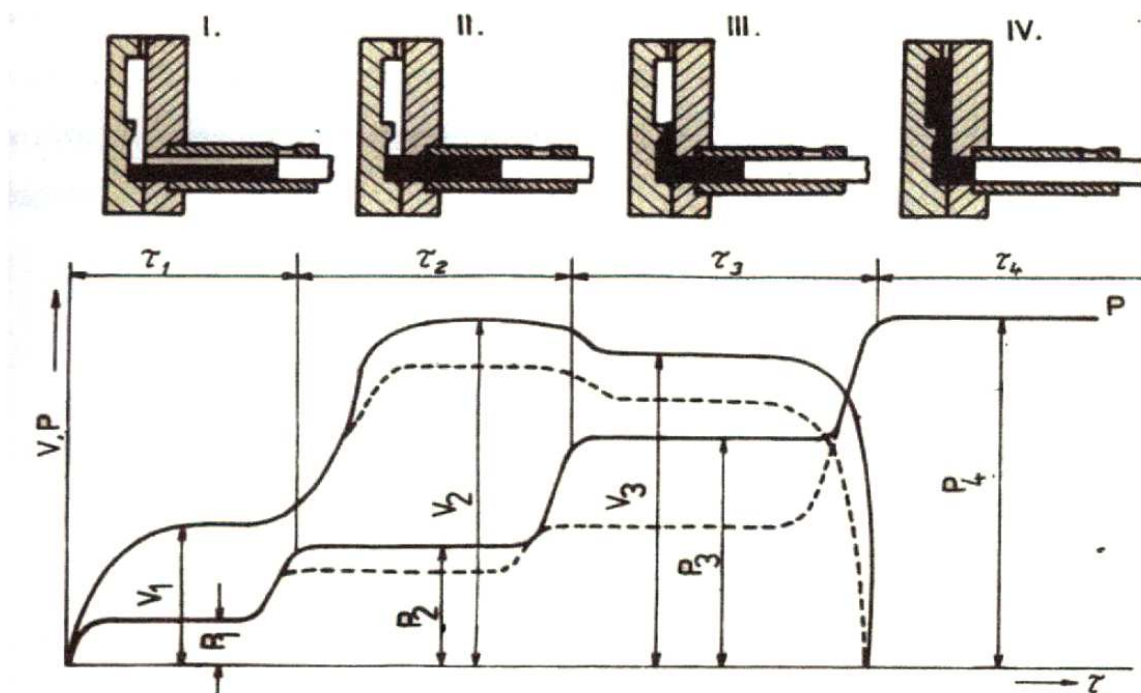
4.1 V historii a dnes

První zmínka o lití pod tlakem pochází z roku 1838. Sloužilo k výrobě tiskařských písmen. Ve strojírenství se používá od roku 1894. V Československu se tlakové lití používalo od dvacátých let 20. století, kdy Ing. Polák použil principiálně nový způsob tlakového lití (zprvu pro odlévání mosazi). Dle jeho patentu se kelímek s roztaveným kovem oddělil od stroje a tavenina se nalévala lžicí do plnicí komory. Z té se pomocí plnicího pístu vháněla do dutiny formy. Tak vznikly první tlakové licí stroje se studenou plnicí komorou, která se nacházela mimo udržovací pec [6]. Technologie tlakového lití je nejdůležitějším a nejpopulárnějším procesem používaným pro výrobu tvarových odlitků ze slitin hliníku. Jedná se o atraktivní a známou metodu pro výrobu tvarově složitých, rozměrově přesných, tenkostěnných odlitků s vynikající jakostí povrchu. U odlitků je možno upustit od přídatků na obrábění a ušetřit odlévaný materiál. Tlakové lití se používá vždy tehdy, kdy je zapotřebí vysoká produktivita při velkém počtu kusů. Principem výroby je vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové formy pod vysokým tlakem (až 250 MPa). Za těchto podmínek je možné vyrábět tvarově velmi komplikované odlitky s tloušťkou stěn přibližně 1 – 2 mm, u některých slitin i méně než 1 mm. Rozměry odlitků jsou velmi přesné – u menších rozměrů lze dosáhnout přesnosti 0,3 – 0,5 %. Ve formách je nutno používat výhradně kovová jádra. Tvar odlitku musí respektovat možnosti rozebírání formy a vytažení volných částí a jader. Velká část otvorů se předlévá. Odlévaný kov je během plnění dutiny formy zprvu jen pod okolním tlakem, který v závislosti na provedení odvzdušňování postupně narůstá. Po ukončení plnění formy je pak odlévaný kov zatížen vysokým statickým tlakem. Tlak na konci plnění formy umožňuje zatečení ještě tekutého licího kovu do nejužších průřezů a zlepšuje reprodukci tvaru formy[1].

4.2 Principy vysokotlakého lití

Vysokotlakové lití je založeno na vtláčování roztaveného kovu se do dutiny slévárenské formy pomocí tlaku pístu tlakového stroje. Rozsah tlaků je závislý na velikosti stroje a lze vyvodit tlak 2 až 500 MPa [8].

Plnění dutiny formy roztaveným kovem při tlakovém lití se provádí v několika fázích viz obrázek 1.



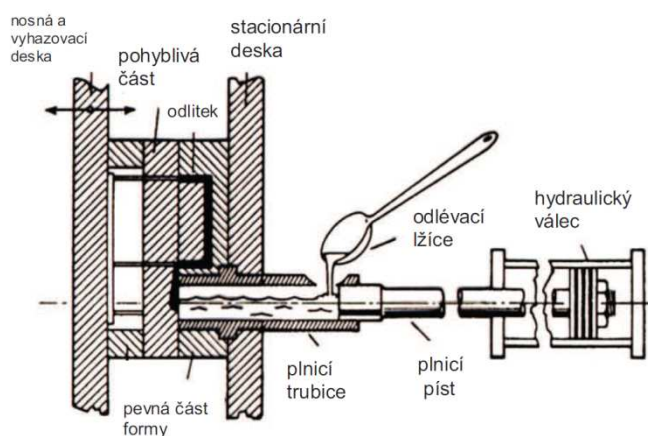
Obr. 1. Fáze plnění dutiny formy [1]

1. v čase 0 až t_1 : naplnění plnicí komory tlakového licího stroje potřebným množstvím tekutého kovu – tlak na kov ještě nepůsobí
2. v čase t_1 až t_2 : tzv. hrubé plnění – dochází k naplnění dutiny formy tekutým kovem – vtokovým systémem prochází velké množství kovu vysokou rychlostí, nastává velké tření a část pohybové energie proudu kovu se proto mění v teplo, teplota kovu se zvyšuje
3. v čase t_2 až t_3 : doplňování kovu do formy – v této fázi je forma pouze doplňována ve všech detailech působením hydrodynamického tlaku proudícího kovu, hodnota tlaku vzrůstá rychleji a dosáhne maxima
4. v čase t_3 až t_4 : po úplném vyplnění dutiny formy kovem přestane působit dynamický účinek a po dobu tuhnutí na kov působí pouze hydrostatický tlak

4.3 Stroje pro tlakové lití

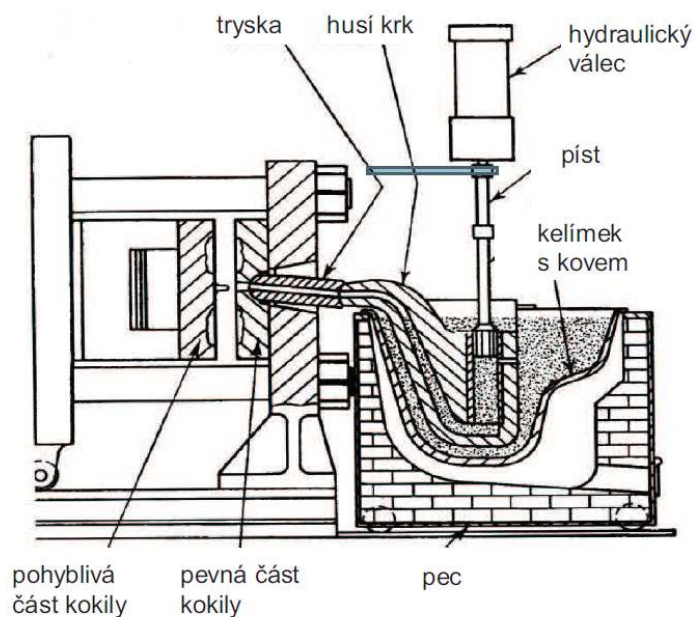
Dnešní stroje pro tlakové lití jsou výsledkem téměř stoletého vývoje a k jejich vysoké kvalitě a výhodné konstrukci přispěla aplikace řídicích a elektronických prvků s využitím výpočetní techniky. Ve svém vývoji doznaly konstrukce a technická provedení těchto strojů značných změn. Původní stroje, s teplou tlakovou komorou, dnes více nahrazují stroje se studenou tlakovou komorou (o jejich vývoj a výrobu se nejvíce zasloužil pražský inženýr Josef Polák, jemuž byl v roce 1927 udělen patent v Československu č. 30 050, v Německu č. 496265 a 11. června téhož roku v USA i patent č. 1717254 na lící stroj, od kterého byla tavící pec oddělena a tavenina se vlévala do vertikální tlakové komory, tlakem pístu se pak dopravovala do dutiny formy). Dalším pokrokovým prvkem byla konstrukce tlakových strojů s horizontální tlakovou komorou. Tato konstrukce našla ihned velké uplatnění, neboť tyto stroje dosahují vyššího pracovního výkonu, lepšího využití odlévaného kovu a současně se vyznačují jednodušším vstřikovacím systémem, resp. spolehlivostí provozu. Principy tlakových strojů různých konstrukcí jsou dobře patrné ze schémat (obr. 1, 2). V současné době se vyrábí tlakové stroje s velkou možností nastavení technologických parametrů. Vyznačují se zejména specifickou konstrukcí (ta se používá pro dopravu taveniny do tlakové komory při odlévání slitin hořčíku) či speciálním systémem ovládání vakua ve formě. Také existuje možnost uplatnit i netradiční modifikované metody vysokotlakého lití. Mezi ně se také řadí ve větším měřítku postupné zavádění metody vakuového tlakového lití, při kterém tvoří tlaková forma, tlaková komora a píst uzavřený vakuový prostor a celý proces tlakového lití probíhá ve vakuu. Odlitky neobsahují ani plynovou porezitu, ani oxidické vměstky, a tím vykazují větší mechanické vlastnosti než odlitky vyráběné běžnou metodou tlakového lití [7].

Stroje se SK – tato varianta strojů se k odlévání dílů vysokotlakovou metodou používá nejčastěji. Schéma stroje je zobrazeno na obrázku 2. Tyto stroje jsou vhodné pro odlévání více druhů slitin. Jejich velkou výhodou je, že plnicí komora není pod hladinou roztavené slitiny. Je tedy možno pracovat s menším objemem roztaveného kovu[5].



Obr. 2. Licí stroj se SK[5]

Tlakové lití s TK – tato zařízení mají komoru pod hladinou kovu, tedy přímo v udržovací peci. Jejich výhodou je, že kov se z udržovací do plnicí komory nepřelévá, a tak nedochází k jeho oxidaci. Tento typ pecí se pro slitiny hliníku nepoužívá, ale často je využíván pro lití slitin hořčíku a zinku. Schéma stroje je zobrazeno na obrázku 3 [5].



Obr. 3. Lící stroj s TK[5]

5 Dokončovací operace - apretace

Při tlakovém lití dochází k nedokonalostem odlitků, které je zapotřebí odstranit v rámci dokončovacích operací. Při výrobě odlitků dochází k přetokům v oblasti dělicí roviny a ve vedení pohyblivých jader. Pokud jsou již formy do jisté míry opotřebené, mohou se přetoky vyskytnout i ve styku pevných vložek a jader. Přetoky vznikají také v místech odvzdušňovacích kanálků. Při odlomení vtokového kůlu dochází ke vzniku nerovností na povrchu. Pro zajištění zatečení tekutého materiálu do všech dutin forma obsahuje přetokové ledvinky v oblasti dělicí roviny a stopy po vyhazovacích na povrchu odlitku. Dochází i k dalším povrchovým vadám. Všechny tyto nedokonalosti povrchu odlitků je zapotřebí odstranit.

5.1 Ostřihování

Technologie ostřihování se využívá k odstraňování přetoků za pomoci lisu. Na ostřihovací lis je vhodné použít středně velké a velké série odlitků. Střižný nástroj má tvar negativu obrysu ostřihovaného odlitku. Nástroj může být řešen celistvý či jako dělený nástroj. Tímto způsobem se odstraňují přetoky v dělicí rovině.

5.2 Odvrtávání

K odvrtávání se používají různé druhy vrtaček. Vrtaček je využíváno v případě potřeby odstranění blan vzniklých v průchozích otvorech a u odstranění stop po vyhazovacích v dutinách odlitků. K tomuto je zapotřebí speciálně naostřený nástroj.

5.3 Řezání kotoučovými pilami

Kotoučová pila s hydraulickým svěrákem bývá použita k odřezávání vtokových kúlů umístěných na stěnu odlitku. Pila je opatřena speciálními čelistmi a axiálním dorazem.

5.4 Omílací bubny

Omílacích bubnů se využívá ke sražení ostrých hran, či drobných plen. Tuto technologii je vhodné využívat u menších a tvarově jednoduchých dílů, u kterých nehrozí deformace způsobené omílacími kameny či vzájemným působením. Po ostření se odlitky naplní buben omílacího stroje a přidají se omílací tělíska, jako jsou křemenná drť, litinové hvězdice, či kusy karborunda atd. Buben se otáčí a vzájemným působením dochází k začišťování povrchu odlitku.

5.5 Ruční práce

U odlitků je velmi často nutné odstraňovat nedostatky povrchu ručně, a to z důvodu tvarové složitosti odlitků nebo nepřístupnosti. Nejčastěji se využívá ručních, elektrických nebo pneumatických pilníků, kotoučových, bubnových či pásových brusek. Pro upínání je nejvhodnější využití pneumatických svěráků se speciálními tvarovými čelistmi[1].

6 Řešená problematika

Konečným cílem bylo dosažení efektivnější výroby. Praktická část práce se zabývá zefektivněním části výrobního procesu a to částí dokončovacích operací.

Práce se zabývá změnou z "celofiremního přístupu", kdy byly všechny vyrobené výrobky začleněny do složité logistiky celé firmy, na přístup lokální. Tento lokální přístup, realizovaný pomocí licí buňky, se soustředil kolem daného stroje a vytvořil vlastní logistický celek, který se stal do značné míry nezávislý, značně jednodušší a zároveň kontrolovatelnější. Jako nejvhodnější stroj pro licí buňku byl zvolen Bühler 34, a proto se práce zabývá organizací výroby na tomto stroji. Výhodou volby tohoto stroje bylo to, že jsou ve firmě dva a tedy vznikla možnost usměrňovat výrobu z jednoho stroje na druhý, což utvořilo vhodné podmínky pro zavádění konceptu licí buňky.

Konkrétním úkolem bylo tedy vytvoření licí buňky a ověření použitelnosti a rozšiřitelnosti tohoto konceptu na další stroje. Důležitý byl zřetel na praktičnost a komplexnost přístupu, přičemž přínosy se daly předpokládat patrné a měřitelné.

Pro realizaci licích buněk pro dokončovací operace u jednotlivých strojů je nezbytné sladění strojového a pracovního taktu tak, aby v těchto buňkách bylo učiněno co nejvíce operací a potřebných úkonů. Cílem je snížení množství manipulace s odlitkem, minimalizace přepravních časů a nevyužívání meziskladů. Toto by mělo přispět ke zkrácení času od začátku výroby až po expedici.

Nutností pro vytvoření lokálních licích buněk pro dokončovací práce je analýza možností pracovníka, či pracovníků vykonávat dokončovací operace v rámci taktu stroje, volba vhodných odlitků pro práci v těchto buňkách. Dále je zapotřebí vytvoření návrhu konstrukce zachlazovací vany a konstrukce pracoviště licí buňky.

6.1 Popis jednotlivých činností při výrobě

Jednotlivé odlitky se od sebe diametrálně odlišují a to jak konstrukce, tak přání zákazníka. Z tohoto důvodu jsou technologie použité u každého výrobku odlišné a časově rozdílně náročné. Dále je uveden stručný popis operací prováděných na odlitku při potřebě využití všech dostupných technologií.

a) Tavení hliníku

Tavení hliníku probíhá na počátku procesu a to v tavících pecích. Roztavený hliník je nalit do kelímku sloužícímu k přepravě ke strojům. Přeprava a nalití hliníku do stroje se provádí za pomoci jeřábu.

b) Lití odlitků

Lití odlitků probíhá na pěti strojích pro tlakové lití se studenou licí komorou a to na strojích Bühler56, Bühler66, DEL a dvou strojích Bühler34, zde dochází k vstříknutí vícenásobného odlitku.

c) Ostřih

Odlitek, který stále obsahuje vtokovou soustavu, ledvinky a pleny atd. je založen do ostřihového lisu. Po provedení pracovního zdvihu dochází k vyjmutí ostřižených odlitků.

d) Apretace

Ruční vybroušení nerovností zbytků přetoků a vtokových soustav.

e) Omílání

V omílacích strojích dochází k zabroušení veškerých zbylých hran.

f) Otryskávání

V otryskávacím stroji dochází k pískovému otryskání a úpravě vzhledu povrchu odlitku.

g) Kontrola jakosti

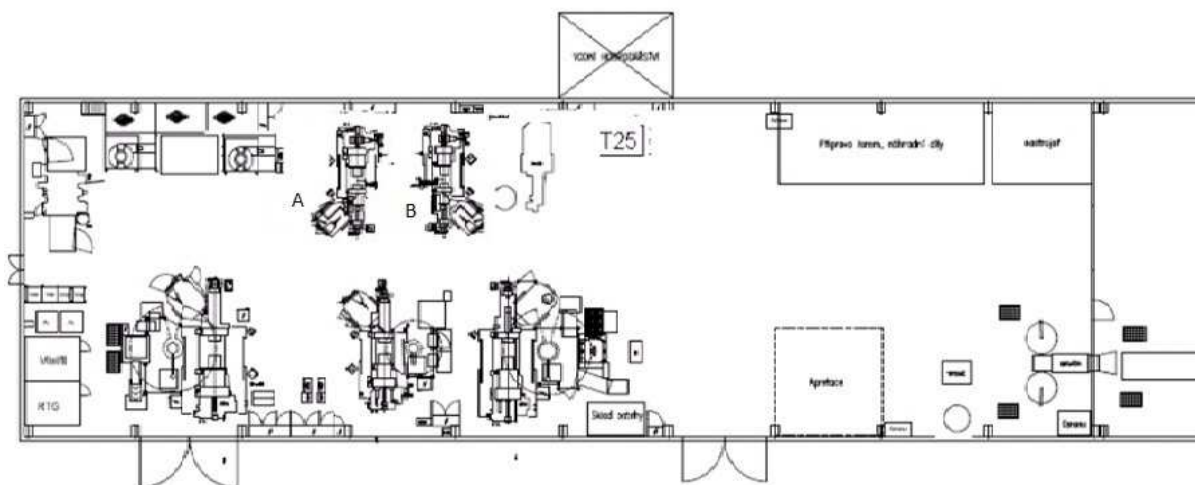
Zde dochází k vizuální kontrole jakosti dílů.

h) Balení

Díly jsou zde zabaleny a připravovány k expedici.

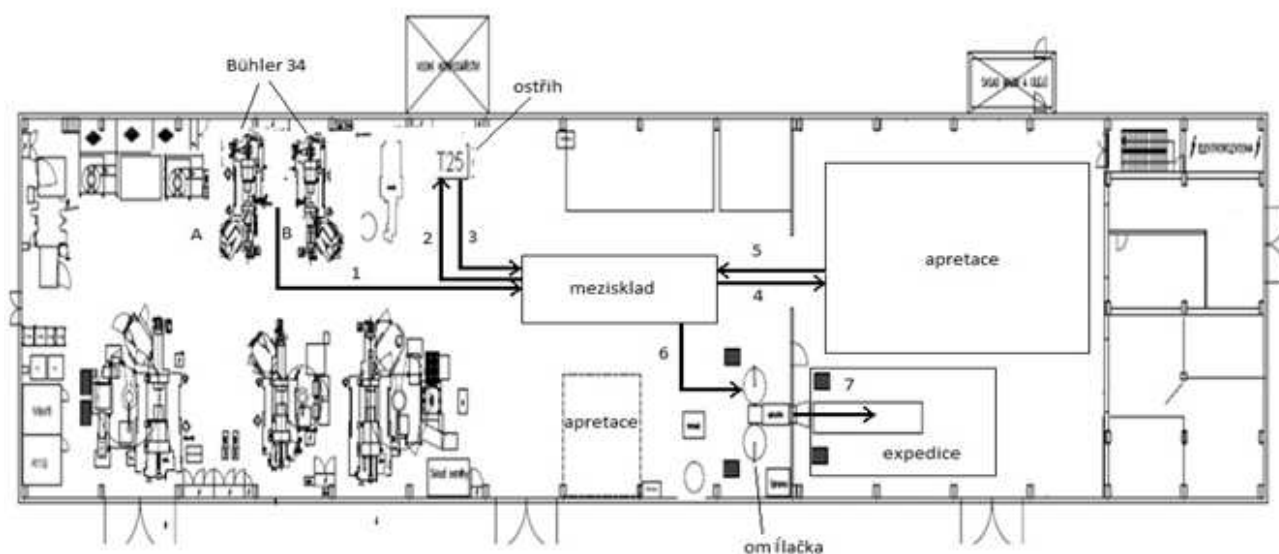
6.2 Popis současného stavu

Na obr. 4. je vidět původní layout firmy, příloha 1. obsahuje obr. 4. ve větším měřítku.



Obr. 4. Schéma původního rozložení strojového parku[9]

Nejdůležitější je pohled na materiálový tok. V současnosti je tok materiálu velmi chaotický a neefektivní. Nejlépe tento pohyb vyjadřuje obr. 5 popisující tok materiálu při výrobě jednoho náhodně vybraného výrobku na daném stroji. Pohyb výrobku je sledován až od jeho odlití.



Obr. 5. Popis pohybu odlitku[9]

Obrobek po nalití je uchopen pracovníkem a umístěn do přepravního Gitterboxu. Ten je přemístěn do meziskladu. Zde je zařazen do fronty a čeká na další zpracování. Poté je přepravní box přemístěn k ostříhu. Zde je postupně vyjímán odlitek po odlitku a prováděn ostříh. Dále jsou ostříhnuté odlitky opět naskládány do přepravního boxu, který je opět

přemístěn do meziskladu. Zde opět čeká. Tentokrát je přemístěn přepravní box k apretačnímu pracovišti (pracoviště, na kterém se odstraňují nálitky a další nedokonalosti odlitku). Zde je ostříhnutý odlitek vyjmut z přepravního boxu, je na něm provedena apretace, zpětně umístěn do přepravního boxu a opět přemístěn do meziskladu. Další operací je omílání a opětovná přeprava, vyjmutí a naplnění omílačky, samotný proces omílání. Pomocí přepravního pásu se dostávají odlitky k předposlední operaci, kterou je kontrola a balení. Což tedy znamená opět přepravu, uchopení jednotlivých dílů, jejich kontrolu a balení. Poslední operací je přeprava do expedičního skladu a jejich uskladnění.

Tento případ je do značné míry typickým příkladem. Jak je vidět pohyb odlitku je značně chaotický a s velkými prodlevami. Z tohoto popisu je vidět, že z pohledu toku materiálu je tato zaběhnutá praxe zcela neudržitelná.

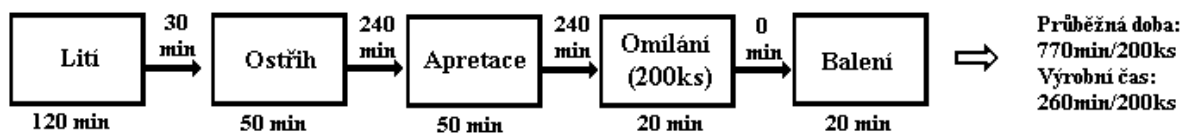
Co se týká pořadí výrobků, vstupujících a vystupujících do výroby, tak z důvodu neuvěřitelně dlouhého procesu, více v bodu 6.2.1 *Analýza času potřebného k výrobě*, a uspokojování přednostních zákazníků není výrobní proces celistvý, ale rozkouskovaný a nesystematický, dále je velmi náročný na lidský faktor a extrémně náročný na skladování. Pokud budeme hovořit o meziskladech, tak ty jsou utvářeny neřízeným způsobem a v takto složité struktuře i značně chaotické.

6.2.1 Analýza času potřebného k výrobě

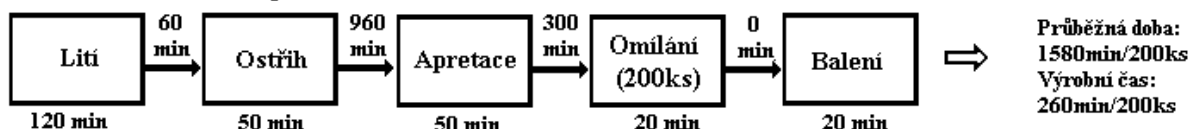
Bylo zapotřebí určit výchozí stav časové náročnosti na výrobu. Za tímto účelem byl vybrán soubor 30 náhodných zakázek, u kterých byl spočten jejich průměrný čas od začátku výroby po expedici. Výsledkem je průměrný čas 13,3dne na odlitek. Z čehož výrobní proces a úkony s ním spojené jsou v průměru 1,2min. Tento neuspokojivý výsledek je způsoben převážně velkým čekáním ve skladu a čekáním na kompletaci dávky před přesunem na další pracoviště.

Na obr. 6. je znázorněn sled operací a informativní časové náročnosti pro jeden z výrobků, a to z pohledu teoretické doby výroby, skutečné průměrné doby výroby a předpokládané doby při začlenění do nového procesu. Tento výrobek má operace rozděleny do 5 částí. Lití, ostříh, apretace, omílání a balení. Čas uvedený pod operací ukazuje čas potřebný k provedení operace. Čas nad šipkou znázorňuje dobu od konce jedné operace k zahájení operace druhé.

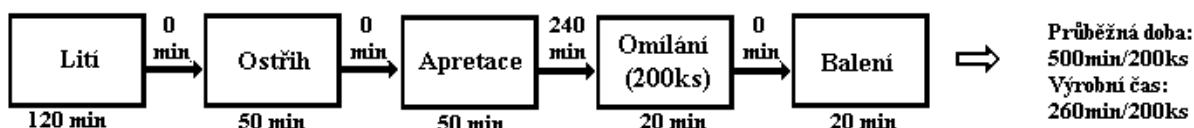
Teoretická doba starého procesu



Průměrná doba starého procesu



Teoretická doba nového procesu



Obr. 6. Schéma časové náročnosti

Jak je vidět z obr. 6., tak se teoretická doba procesu shoduje s průměrnou dobou procesu. Nicméně průměrná doba zahájení následující operace je několikanásobně vyšší. Toto zpoždění je způsobeno čekáním v meziskladu. Průběžnou dobou se předpokládá doba od zahájení výroby až po expedici.

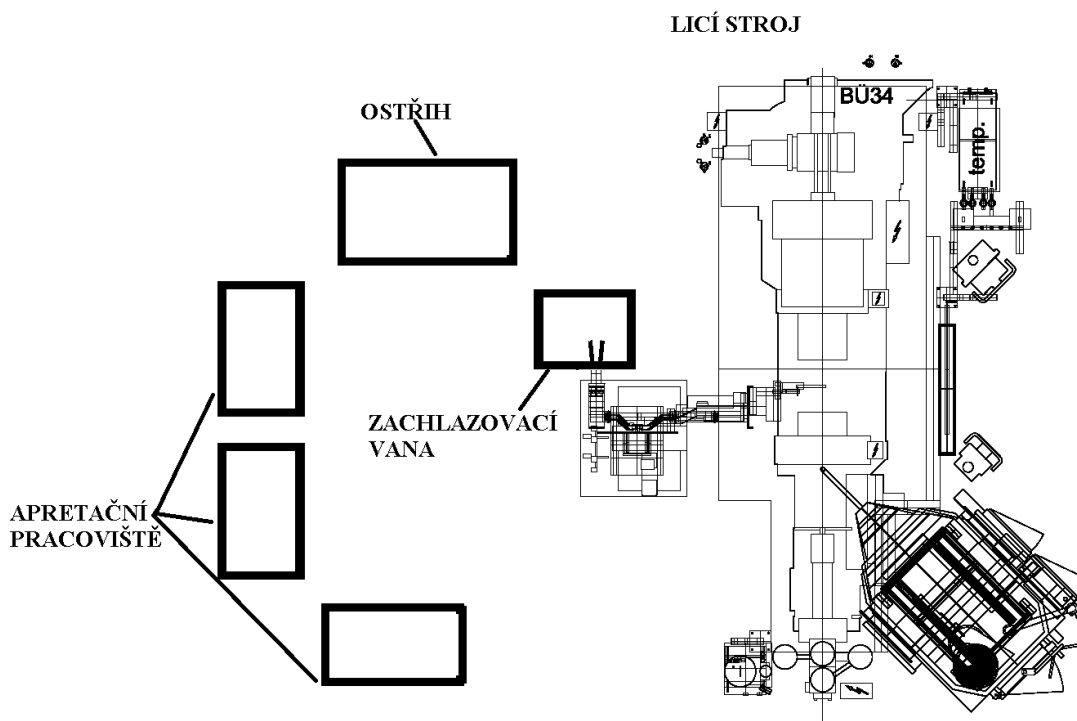
U nového procesu odpadá značné množství času stráveného v meziskladu a tím by se čas potřebný k vyexpedování výrobku měl razantně snížit.

Zhodnocení analýzy

Tento stav zapříčiňuje nedodávání výrobků ve stanoveném čase, což snižuje důvěryhodnost firmy. Nutnou častou výměnu licích forem, z důvodu potřeby lití pro přednostní zákazníky, která má za následek pozdržení výroby. Nadbytečnou práci zaměstnanců s touto výměnou a tím zvýšené náklady. Dále zvýšené náklady na dopravu. Tyto náklady jsou způsobeny tím, že ve chvíli nedodržení termínu se dostává zákazník do situace, kdy hrozí zastavení jeho výroby, a poté je zapotřebí odesílat menší počet kusů, aby nedošlo k omezení výroby tohoto zákazníka. Tímto dochází ke zvýšeným nákladům na dopravu a opět k znepráhlednění struktury výroby.

6.3 Základní představa layoutu lící buňky

Lící buňka by měla vytvářet ucelené pracoviště obsahující lící stroj s manipulátorem, automatizovanou chladicí vanu, ostřih a vytvořená pracovní místa pro dokončovací operace.



Obr. 7. Základní představa layoutu lící buňky

Pro určení zdali je koncept lící buňky možný, bylo nutné vytvořit analýzu výrobků a lidských zdrojů.

6.3.1 Analýza vhodných výrobků

Tato analýza musela zmapovat množství odlitků a náročnost na dokončovací práce s ohledem na možnost sčasování s taktem stroje a tím umožnit zařazení do lící buňky. Dalším cílem této analýzy bylo vytvoření požadavků na odlitky vhodné do lící buňky tak, aby usnadnila pracovníkům firmy rozhodování o vhodnosti, či nevhodnosti zařazení nových odlitků do této buňky.

Vzhledem k prostoru vyčleněného pro lící buňku je možné zařadit tři pracoviště. Z toho vyplývá, že jedním z hlavních parametrů je časová náročnost dokončovacích operací v této buňce prováděných. Maximální je tedy trojnásobek doby lití odlitku. Takt stroje a tím doba

lití byly získány z firemních dat. Tab. 1. obsahuje ukázkou z firemních dat a kompletní data jsou v příloze 2.

	Číslo dílu	Dokončovací operace	ČAS CELKOVY		ČAS OPERACE			
B	XXXX55	Tlakové lití – Druckgießen	225	MIN	0,441	MIN	1	KS
B	XXXX61	Tlakové lití – Druckgießen	165	MIN	0,75	MIN	1	KS
B	XXXX66	Tlakové lití – Druckgießen	150	MIN	0,333	MIN	1	KS
B	XXXX27	Tlakové lití – Druckgießen	165	MIN	0,566	MIN	1	KS
			průměrný licí čas		0,444	MIN		
					26,62	S		

Tab. 1. Průměrný čas lití [9]

Z tabulky vyplývá, že průměrná doba lití dílů na odpovídajícím stroji je 26,6 s.

Normovaný čas dokončovacích operací - ukázkou z firemních dat v tab. 2. Kompletní data viz příloha 3.

Název	Pracoviště	Dokončovací operace	Číslo dílu	Čas	
Ložiskové víko	30	Olam - Abbrechen	XXXX88	0,2	MIN
Ložiskové víko	160	Vrtat - Bohren	XXXX70	0,33	MIN
Ložiskové víko	300	Omílat - Gleitschleifen	XXXX70	0,15	MIN
Ložiskové víko	30	Olam - Abbrechen	XXXX18	0,15	MIN
Stativ	30	Olam - Abbrechen	XXXX30	1,2	MIN
Stativ	40	Ořez - Abschneiden	XXXX30	1	MIN
Paralelní doraz	60	Ostřih - Stanzen	XXXX89	0,5	MIN
Ložiskové víko	60	Ostřih - Stanzen	XXXX90	0,4	MIN
		Průměrný čas jedné operace		0,51	MIN
		Průměrný počet operací na odlitek		2,6	
		Průměrný čas dokončovacích prací na jeden odlitek		1,32	MIN
		Průměrný čas dokončovacích prací na jeden odlitek		79,38	S

Tab. 2. Průměrné časy dokončovacích operací [9]

Předpokládáme-li tedy průměrný odlitek, jsou dokončovací operace v rámci trojnásobku taktu stroje (který je dán průměrným licím časem) zvládnutelné. Vezmeme-li v úvahu, že budou odlitky podobných parametrů rozdělovány mezi dvěma stejnými stroji, tedy odlitky s nadprůměrnou časovou náročností dokončovacích operací nebudou zařazeny ke stroji s licí buňkou, lze předpokládat uskutečnitelnost konceptu licí buňky.

Nicméně je pro každý z výrobků zvlášť nutné určit, zdali je pro výrobu v licí buňce vhodný.

Z důvodu množství dat uvádím v tab. 3. příklad výrobku XXXX80 a ostatní výrobky jsou k nahlédnutí v příloze 4.

Číslo dílu	Název	Dokončovací operace	ČAS	MIN
XXXX80	Výstředník	Tlakové lití - Druckgießen	0,588	MIN
XXXX80	Výstředník	Ostříh - Stanzen	0,175	MIN
XXXX80	Výstředník	Apretace	0,80	MIN
XXXX80	Výstředník	Omílat - Gleitschleifen	0,07	MIN
		CELKOVÝ ČAS DOKONČOVACÍCH OPERACÍ	0,975	MIN
		ČAS LITÍ	0,588	MIN

Tab. 3. Operace prováděné na odlitku XXX80 [9]

Z tabulky vyplývá, že čas dokončovacích operací je menší než trojnásobek taktu stroje. Díl je tedy vhodný pro zpracování v lici buňce z pohledu zvládnutelnosti operací v taktu stroje.

Z celkového počtu 173 odlitků litých na strojích Bühler 34 těmto požadavkům vyhovuje 142. Z toho vyplývá, že požadavkům možnosti zařazení do lici buňky odpovídá 82% z odlitků do té doby realizovaných.

6.3.2 Analýza potřebných lidských zdrojů

Dále bylo zapotřebí určit potřebné množství pracovníků a jejich vytíženost při pracovním procesu. Analýza vhodných výrobků 6.3.1 určuje, zdali jsou dokončovací práce zvládnutelné v taktu stroje, ale při dokončovacích operacích s nižší časovou náročností nežli takt stroje dochází k poklesu produktivity práce jednotlivých dělníků. Tento pokles způsobuje čekání na nalití odlitku, či v případě delší časové náročnosti předcházející operace a to buď z důvodu vyšší časové náročnosti, či objevení nenadálých víceprací. Tímto by došlo k pozdržení celého procesu. Bylo tedy zapotřebí určit požadovanou produktivitu práce, zároveň opatření pro její zvýšení a vyřešení problému víceprací.

Byla zvolena požadovaná produktivita práce 80%. Výrobky, u kterých byla shledána produktivita nižší nežli požadovaná, byly vyřazeny z konceptu lici buňky.

Celková produktivita při výrobě daného výrobku je určena takto:

$$\frac{\text{součet časů operací prováděných v lici buňce}}{\text{takt stroje} \cdot \text{počet pracovníků}} \cdot 100 = \text{celková produktivita v \%}$$

Každý výrobek má svůj technický list, který obsahuje informace o prováděných pracích a jejich normovanou časovou náročnost. Dále také obsahuje velikost dávky umísťované do

omílačky (pokud je součástí prováděných prací). Pro ilustraci uvádím informace o výrobku XXXXX78.

číslo operace	Pracoviště:	Popis operace:	Norma [min]
1	Apretovna Ostříh Operace společná s odlitkem 501 473	1.Založit sadu odlitků – odstříhnout přetoky a . vtok. ODKLÁDAT do bedny. Třídít podle druhu odlitku. Ostříh ošetřovat postřikem a ofukovat stlačeným vzduchem.	0,08
3	Omílací stroj	Omílat v kamenech RKS 40 P po dobu 7 minut, sušit při teplotě 160°C, posuv pásu 1,5 Vsázka 400 ks	0,05
5	Apretovna Pneumatický pilník	1.Lehce zapilovat plošku na vnější straně „lopatek“ (podle vzorku) 2. Srazit případné zbytky otřepu na stopách po vyhazovačích	0,4
	Balení Expedice	1.Provést výstupní kontrolu dle kontrolního postupu. Balit k odeslání zákazníkovi podle balícího předpisu.	

Tab. 4. Technický list odlitku XXXXX78 [9]

Čas lití (určený z přílohy 2.) je 0.492 min. Součet časů operací prováděných v licí buňce je nižší nežli licí čas. Tyto činnosti bude tedy provádět jeden pracovník. Pak tedy:

$$\frac{0,4 + 0,08}{0,492 \times 1} \cdot 100 = 97,6\%$$

Z výpočtu vychází, že tento odlitek je téměř ideální pro zařazení do licí buňky.

Možnosti zvýšení produktivity:

a) Sdružení činností

V případě, že součet času dvou operací je menší nežli licí čas stroje, pak jsou tyto operace sdruženy. Např. u výrobku XXXXX78 je čas na apretaci a čas potřebný k ostříhu nižší nežli takt stroje. Obsluha ustřihovacího lisu tedy provádí ostřih a ve zbylém čase provede apretaci.

b) Vytvoření odkládacích ploch

Odkládací plochy o kapacitě od 10 do 30ks mezi jednotlivými pracovišti umožňují kumulaci "nevyužitého" času. Tímto nedojde k pozdržení prací při drobném zdržení při operaci a zároveň vytvoří dostatečný časový rámec pro další logistické činnosti, jako jsou např. odvoz odlitků, či přesun dokumentace.

Výpočet produktivity výroby byl učiněn pro veškeré výrobky, které byly do té doby vhodné pro koncept licí buňky dle bodu 6.3.1 *Analýza vhodných výrobků*.

Z hlediska produktivity práce pro koncept licí buňky 80% limit produktivity práce nesplnilo 29% výrobků a vhodných tedy je 71%. Přičemž jednotlivé výrobky s danou produktivitou jsou uvedeny v příloze 5.

Z původních 173 odlitků litých na strojích Bühler 34 vyhovuje 101. Z toho vyplývá, že požadavkům možnosti zařazení do licí buňky z hlediska produktivity práce a vhodnosti výroby odpovídá 58% z odlitků do té doby realizovaných. Je tedy vhodné do licí buňky zařadit výrobky s nejvyšší produktivitou práce.

Závěr analýzy

Z této analýzy vyplývá, že existuje dostatečný okruh výrobků, který vyhovuje konceptu licí buňky na časovou náročnost a produktivitu práce. Tímto vzniká možnost zbudování lokálních buněk pro dokončovací operace. Předpokládám, že tímto způsobem dojde ke zkrácení průběžné doby výroby. Dále zjednodušení toku materiálu a zvýšení kontroly jakosti odlitku, protože bude vada odhalena pracovníkem před provedením prací a tím dojde k úspoře jak času, tak finančních prostředků.

6.3.3 Optimalizace

Hlavním cílem je maximální využití pracovní síly a tím maximalizace produktivity práce. Konečné rozhodnutí, který z výrobků bude kde vyráběn, bude do značné míry záviset na množství vyráběných kusů.

V případě, kdy budou požadovat zákazníci v daném časovém úseku odlitky náročnější na dokončovací operace, a to v nadpolovičním množství kapacit obou strojů, či dojde k nárůstu náročnosti nových odlitků na dokončovací operace, mohla by nastat situace, při které by již nebylo dostatečné množství kusů na vytížení stroje s licí buňkou. V tomto případě jsou dvě možnosti:

1. *Zařazení dalšího apretačního pracoviště*

V tomto případě každé další pracoviště zvyšuje maximální čas na dokončovací operace o čas taktu stroje.

2. *Vystoupení odlitku z procesu licí buňky*

Tato možnost znamená, že operace prováděné na odlitku nejsou stíhány v taktu stroje a odlitek tedy odchází z licí buňky s nedokončenou apretací a zařazuje se do klasického režimu firmy. Zbývající operace je tedy dodělána na jiném pracovišti.

Dalším potřebným údajem je velikost vsázky do omílacího stroje. Při dosažení tohoto množství dochází k přepravě odlitků umístěných do KLT přepravek k omílacímu stroji. Tyto údaje pro každý z výrobků získáme z "TGP - Postup apretace".

Z analýzy vyplývá, že existuje taková skupina výrobků, u které je možno zvládnout apretační operace v taktu stroje. Tímto vzniká možnost zbudování lokálních buněk pro dokončovací operace. Předpokládá se, že tímto způsobem dojde k zvýšení produktivity práce pracovníka obsluhujícího licí stroj. Dále zjednodušení toku materiálu a zvýšení kontroly jakosti odlitku, protože bude vada odhalena pracovníkem před provedením prací a tím dojde k úspoře jak času, tak finančních prostředků.

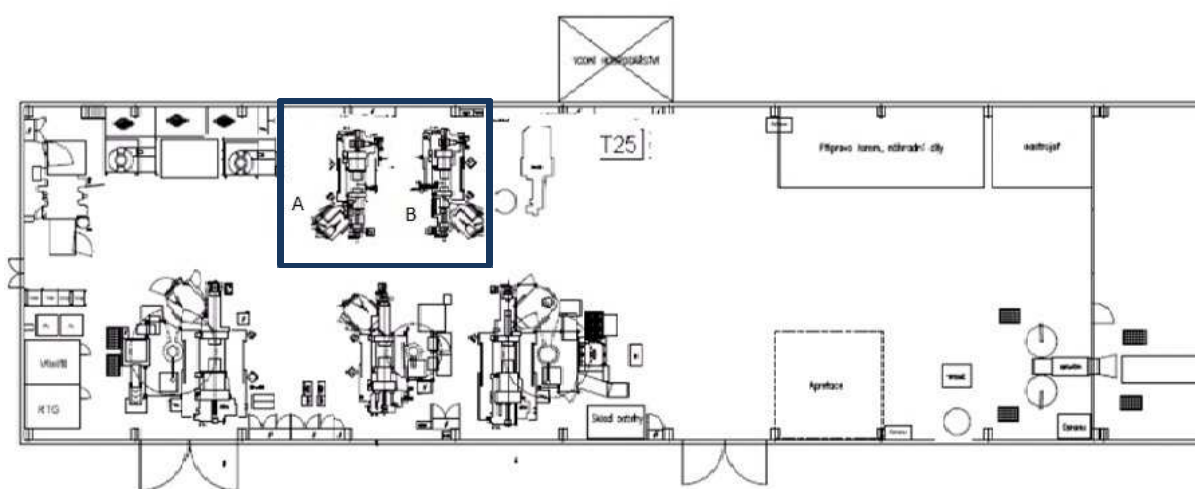
6.4 Návrh layoutu strojů

Z analýz 6.3.1 a 6.3.2 vyplývá, že je možné přistoupit k realizaci konceptu lící buňky.

V současnosti není pro tyto lící buňky dostatek prostoru, a proto dalším potřebným krokem je vytvoření prostoru pro tyto buňky. V současném layoutu strojů není vytvoření buněk možné. Je tedy nutné vytvořit nový layout strojového parku.

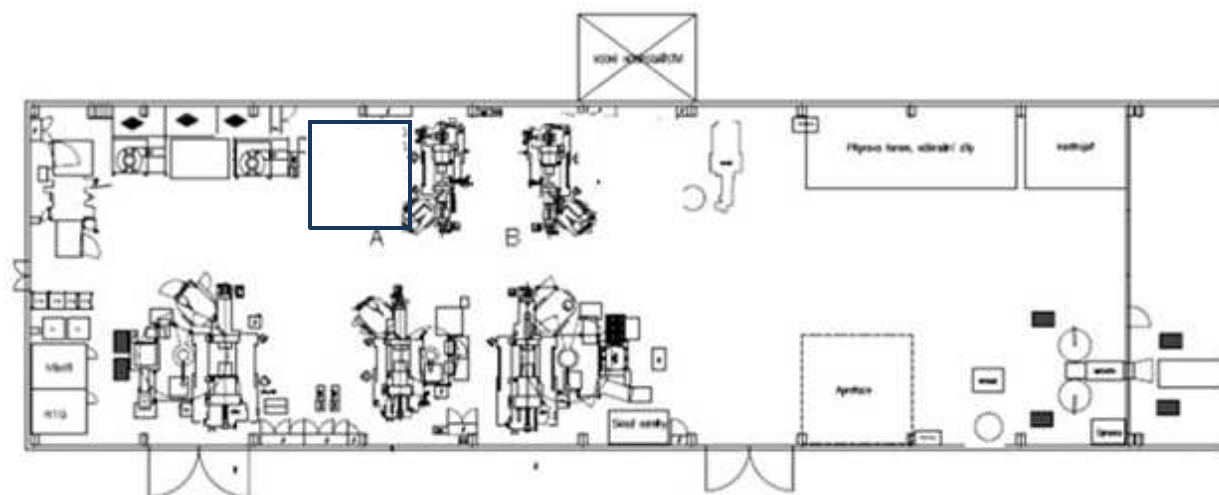
Stroj vyčleněný pro lící buňku je lící stroj Bühler 34 na obr. 8. označen písmenem "A".

Na obr. 8. je v původním rozestavení strojů znázorněna ta oblast ve firmě, kterou se tato práce zabývá.



Obr. 8. Schéma layoutu a znázornění oblasti [9]

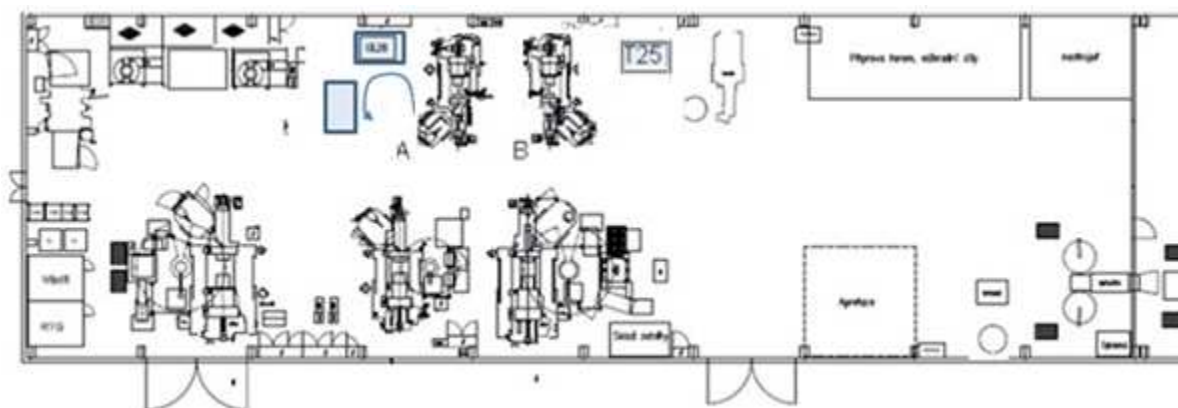
Prvním krokem k vytvoření prostoru pro lící buňky bylo posunutí stroje B. Na obr. 9. je znázorněno místo přesunutí stroje B. Tímto přesunutím došlo k vytvoření dostatečného prostoru mezi tavicími pecemi a lícím strojem A.



Obr. 9. Schéma layoutu a znázornění přestavení strojů [9]

V rámci přemísťování strojů bylo zapotřebí přesunout manipulačního robota, což prováděla specializovaná firma. Dále vybudování betonového základu pod stroj B. Pro stroj A byl využit betonový základ po stroji B. Dále bylo zapotřebí vybudování potřebných přípojek. Tyto předběžné činnosti byly vybudovány v rámci podniku.

Licí buňka obsahuje kromě apretačních stanovišť také ostříhovací lis. Dalším krokem bylo tedy přiřazení a přemístění ostříhů (CL25 a T25) k jednotlivým strojům. Ke stroji A byl přiřazen ostříhovací lis CL25. Na obr. 10. je znázorněno konečné rozestavení licích strojů, ostříhovacích lisů a je zde vyznačen prostor pro realizaci licí buňky.



Obr. 10. Schéma layoutu a lokální licí buňky [9]

Těmito přesuny jednotlivých strojů vznikl prostor vyhrazený pro realizaci licí buňky. Tento prostor je vyznačen na obr. 9. a má obdélníkový tvar o velikosti 7x6m.

6.5 Návrh pracovišť

Při návrhu musíme brát zřetel na operace, které je potřeba vykonat. Dalším nezanedbatelným pohledem je pohled ergonomie. Ergonomie usnadňuje a zároveň zrychluje práci pracovníků.

Konceptem je tedy ucelené pracoviště, na kterém jsou prováděny dokončovací operace. Prvním krokem, který musí být splněn pro okamžitou manuální práci, je ochlazení odlitku. Teplota odlitku vyjmutého z licího stroje je přibližně 350°C a je zapotřebí ji rychle snížit na teplotu umožňující ruční manipulaci, tedy přibližně 40°C. Toto ochlazení bude realizováno za pomoci zachlazovací vany. Proto je zapotřebí navrhnout:

- vyjímání odlitků
- návrh vnějších rozměrů
- návrh výkonu chladiče kapaliny.

Po vyjmutí odlitku ze zachlázovací vany je většinou následujícím krokem v technologickém procesu ostříhnutí vtokového kůlu a přetoků. Tuto činnost obstarává stroj s manuálním zakládáním odlitků, který je součástí lokální pracovní buňky.

Po ostříhu je následující technologický krok variabilní dle druhu odlitku. Z tohoto důvodu je nutné mít pracoviště v modulární formě. Vzhledem k nutnosti přestavení tohoto pracoviště v řádech několika přestavení týdně, je nutné, aby toto přestavení bylo co možná nejsnazší a nejvariabilnější. Každý odlitek bude mít do své dokumentace zanesen i potřebné informace na sestavení této buňky.

Operace, které musí být touto částí technologického procesu splněny, jsou (samozřejmě v závislosti na typu odlitku) operace broušení přetoků neodstraněných ostřihem, dále různé druhy vrtání či závitování, řezání, rovnání, atd.

Po provedení všech potřebných předepsaných operací musí být vyřešena otázka přepravy odlitků.

6.5.1 Změna způsobu přepravy a přepravovaného množství

Přeprava v současnosti je tvořena přepravními Gitterboxy (Obr. 11.) a paletovými vozíky. Tento způsob přepravy je vzhledem k rozměrům, kapacitě, hmotnosti a následujícím činnostem v technologickém stromu nevhodný. Následující činností v technologickém stromu u většiny odlitků je omílání a vzhledem k omezené kapacitě omílačích stroje a tím danému počtu kusů na daný typ



Obr. 11. Gitterbox



Obr. 12. KLT přepravka[10]

výrobku, je nejvhodnější synchronizovat množství odlitků vycházejících z pracovní buňky právě s dávkou odpovídající normovanému množství odlitků do omílačky. Buď přímo množstvím odpovídající dávce, nebo jeho násobkem.



Obr. 13. KLT přepravka s odlitky

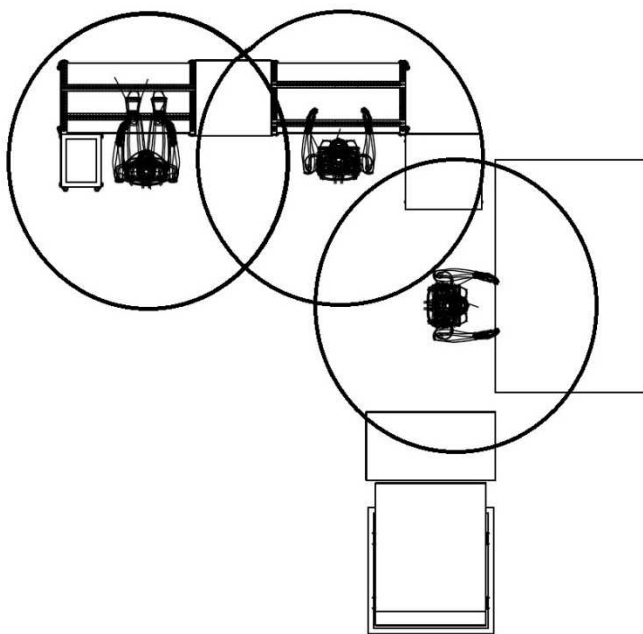
Toto vede k potřebě zmenšení boxu pro přepravu. Z tohoto hlediska vyhovují KLT přepravky. KLT přepravka je vidět na obr. 12. Tato změna umožní snazší manipulaci pracovníkovi u omílačky a zároveň bude vyrobené množství odpovídat dalším procesům a tímto nebude vznikat časové prodlení u této buňky meziskladu. Kapacitní rozdíl mezi Gitterboxem a KLT přepravkou je velmi dobře vidět při porovnání obr. 11 a 13 (na obou fotkách jde o stejné odlitky).

6.5.2 Ergonomie a rozestavení licí buňky

Cílem je dosáhnout co nejlepšího rozestavení jednotlivých součástí buňky a úpravy jednotlivých parametrů tak, aby co nejlépe vyhovovaly dělníkům a zároveň podporovaly produktivitu práce.

Při důkladnějším pohledu na ergonomii a rozestavení u návrhu z bodu 4.3 *Základní představa layoutu licí buňky* bylo v bodu 6.3.2 *Analýza potřebných lidských zdrojů* zjištěno, že pro výrobu současných dílů budou postačovat jedno nebo dvě pracoviště, proto bylo tedy od třetího pracoviště v původním návrhu odstoupeno. Dále vznikla potřeba konstrukce odkládacích ploch pro vznik mezioperační zásoby. Při navrhování zachlazovací vany vyvstal požadavek na konstrukci stolu, který bude zachycovat již zchlazené odlitky po sjetí ze skluzu zachlazovací vany.

Pro zpřesnění požadavků na konstrukční prvky bylo zapotřebí udělat rozbor jednotlivých pohybů prováděných pracovníkem při práci a to za účelem odhalení a minimalizace zbytečných pohybů, ergonomických nedostatků a určení rozměrových požadavků na jednotlivé konstrukční prvky z pohledu snadného dosahu pracovníka.



Obr. 14. Layout licí buňky a dosah

Rozbor pohybů pracovníka u navrženého rozestavení strojů, u nesdružených operací, znázorňujících sled pohybů pracovníků popisující cestu odlitku:

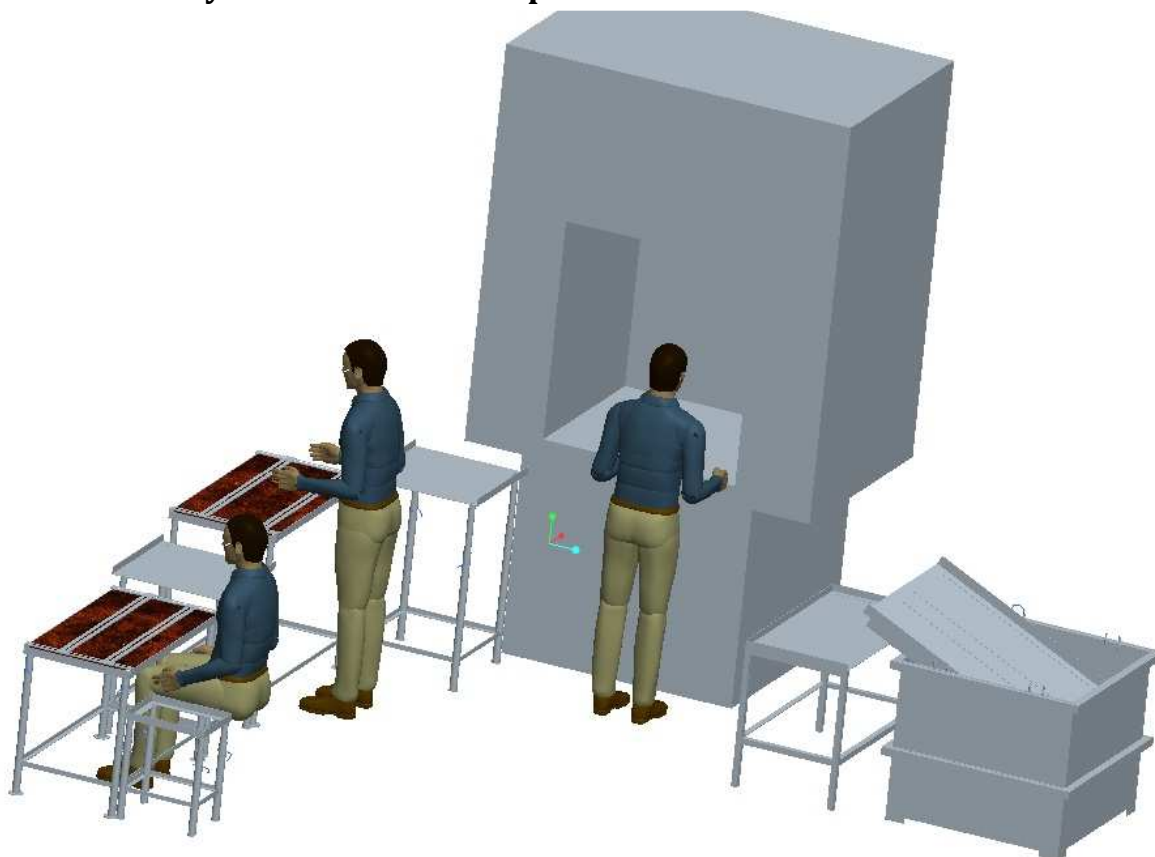
Pracovník stojí čelem ke stolu pro zachycení odlitků, uchopí odlitek, otočení těla o 90° a krok založení odlitku, stisk tlačítka lisu, vyjmutí ostřížených odlitků, otočení těla o 90° odložení

odlitku (otočení o 180°, 2 kroky) na odkládací stůl, uchopení odlitku druhým pracovníkem, provádění operace (ruční broušení), odložení nástroje, otočení těla o 90°, ohnutí, odložení odlitku, (napřímení, otočení o 90°, uchopení odlitku, uchopení nástroje).

Vzhledem k popisu činností pracovníků s ohledem na ergonomii a minimalizaci ztrátových časů, bylo cílem změny rozestavení strojů odstranění kroků, otáčení a ohýbání.

Zbytečné kroky v lici buňce odstraní dostatečné přiblížení a zkompaktnění prostoru a rozestavení, namísto kroků a otáčení celého těla, pak postačí otočení v trupu. Shýbání odstraní umístění KLT přepravky v dosahu pracovníka, k čemuž bylo zapotřebí vytvořit odkládací stůl.

6.5.3 Konečný návrh rozestavení pracoviště



Obr. 15. Konečné rozestavení pracoviště

6.6 Konstrukční prvky licí buňky

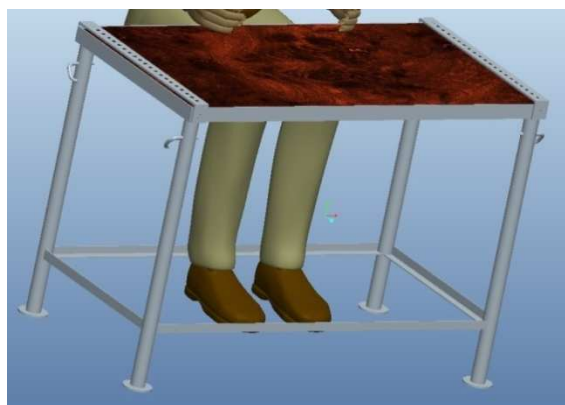
Z bodu 6.5 a 6.52 vyplývají požadavky na konstrukci univerzálního pracovního stolu pro provádění pracovních operací, stolu pro zachycování odlitků, které sjíždějí ze zachlazovací vany a odkládacích ploch.

Pro univerzální stůl byl podmínkou vzhledem k rozmanitosti odlitků požadavek snadného přestavení s možností polohovatelnosti, snadná manipulace a případné upevnění přípravků či upevňovacích prvků na variabilním místě stolu.



Polohovatelností je myšleno umožnění výškové nastavitelnosti takovým způsobem, aby byla umožněna práce jak v sedě tak vestoje a požadavkem byla vyměnitelná dřevěná pracovní deska. Přičemž maximální délka stolu je určena snadným dosažením odlitku a zároveň dostatečný pracovní prostor. Vzhledem k požadavku umožnění použití pneumatických pilníků a elektrického náradí je nezbytné ke stolům dovést přípojky tlakového vzduchu a elektřiny.

Obr. 16. a) stůl v nastavení pro stojícího pracovníka



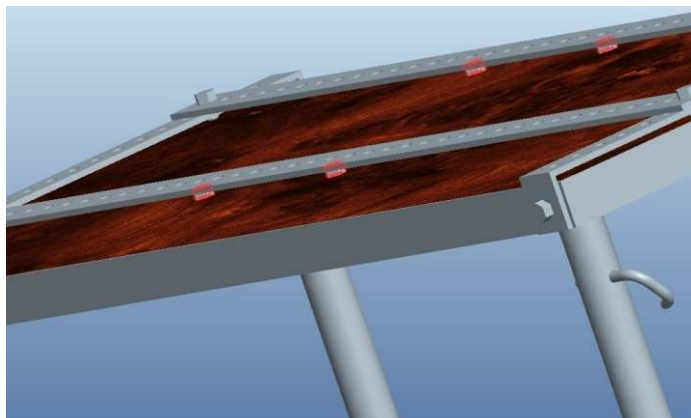
Výšková polohovatelnost stolu, názorná z obr. 16. a) a 16. b), byla zajištěna zasouváním nohou stolu do stojanu stolu. Aretace výšky stolu je prováděna aretačními kolíky.

Stůl je nastavitelný v rozsahu od 700 mm do 1200 mm a v celé šíři rozsahu je možné nastavení po 20 mm.

Obr. 16. b) stůl v nastavení pro sedícího pracovníka

Vzhledem k tomu, že síly působící na přípravky a upínače jsou malé, jako například u ručního broušení pneumatickými pilníky, není zapotřebí, aby byla realizace příliš robustní. Standardní řešení pomocí ocelové desky s T drážkami nesplňovalo požadavek na snadné přestavení a bylo finančně náročnější.

Upínání přípravků a upínačů je realizováno, jak je patrné z obr. 17., příčnými plechy, které jsou přišroubovány k rámu desky stolu a vodorovnými plechy přišroubovanými k plechům příčným. Plechy obsahují vyvrtané otvory po 25 mm, čímž vzniká možnost upnout přípravek či upínač po téměř celé ploše stolu a přizpůsobit si tím pracoviště ke spokojenosti pracovníka. Připevnění přípravků či upínačů k plechům je realizováno pomocí šroubů a matic.

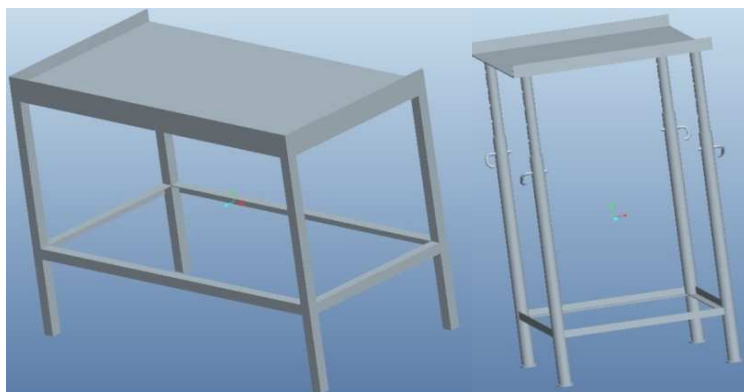


Obr. 17. Detail umístění distančních matic

Matice zde také fungují jako "distanční trubky", které vymezují prostor mezi deskou stolu a vodorovnými plechy a zabraňují jejich průhybu.

Manipulace s univerzálním stolem je možná ručně či za pomoci paletového přepravníku, a to jak v podélném, tak v příčném směru stolu. Výkres sestavy včetně výrobních výkresů je možné nalézt v příloze 6.

Stůl pro zachycení odlitků je vidět na obr. 18. a vychází z bodu 4.7 *Návrh zachlazovací vany*, obrázek odkládací plochy je vidět na obr. 19.

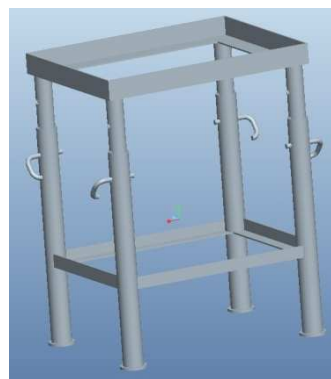


Výkres sestavy včetně výrobních výkresů stolu pro zachycení odlitků je možné nalézt v příloze 7. a odkládací plochy v příloze 8.

Obr. 18. Stůl pro zachycení odlitků a Obr. 19. Odkládací plocha

Odkládací stolek pro KLT přepravky je názorně vidět na obr.20.

Výkres sestavy včetně výrobních výkresů je možné nalézt v příloze 9.



Obr. 20. Stolek pro KLT

6.7 Návrh zachlazovací vany

Zachlazovací vana bude sloužit ke snížení teploty nalitého odlitku na takovou hodnotu, aby byla umožněna manuální manipulace v krátkém časovém úseku po nalití.

Mým cílem je navržení konstrukčního provedení vany, vyjímacího mechanismu, dimenzace pohonu a výpočet potřebného přibližného chladicího výkonu. Požadavkem je, aby pneumatická technika byla od firmy FESTO, která je s firmou POLAK spolupracující.

Výroba vany je realizována vlastními prostředky firmy, ale řídicí jednotka včetně připojení k manipulátoru, pneumatický obvod, chladicí systém a energo mosty byly realizovány soukromou specializovanou firmou na základě provedené dimenzace.

Z licího stroje je při otevření bezpečnostních dveří vyjmut odlitek manipulátorem, který jej pouští na dopravníkový pás. Tento dopravník bude nahrazen zachlazovací vanou. Samozřejmým cílem je i minimalizace nákladů na pořízení. Chladicí kapalinou vzhledem k nutnosti manuální manipulace bude voda.

Koncept návrhu vyjímání odlitku

1. varianta návrhu

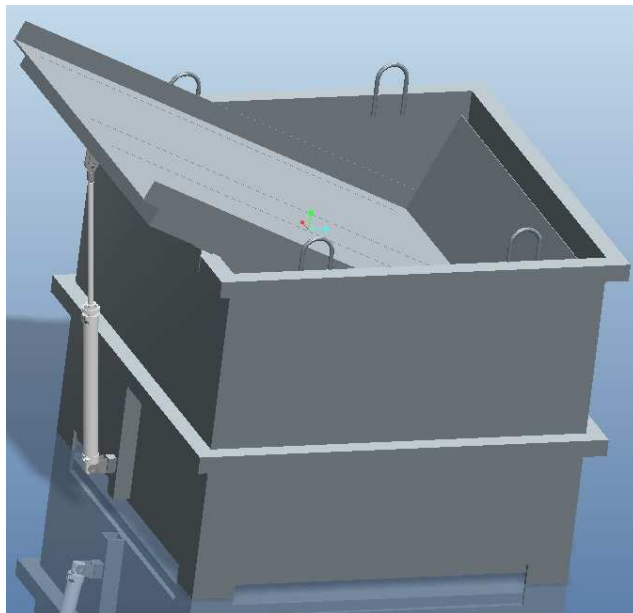
Odlitek bude upuštěn do drátěného košíku, ze kterého bude vysypán na skluz.

2. varianta návrhu

Odlitek bude na kyvném skluzu ponořeném v kapalině

Srovnání:

První varianta má tu nevýhodu, že by při pádu odlitku z košíku mohlo docházet k otloukání odlitku a mohlo by docházet k zachycení odlitku do oka košíku za otřep či malé části. Řešení tohoto problému komplikovalo konstrukci zařízení. Druhá varianta má konstrukční nevýhodu z pohledu bránění proudění kapaliny a vytékání chladicího média. Částečným řešením tohoto problému jsou vhodně zvolené otvory v materiálu skluzu, které budou propouštět proud kapaliny, ale nezabrání odlitku ve skluzu a zároveň zajistí udržení kapaliny v nádrži. Vzhledem k snazšímu řešení problémů a jednodušší konstrukci byla zvolena druhá varianta tedy kyvného skluzu. S tím, že bude skluz vytvořen z děrovaného plechu.



Obr. 21. Zachlazovací vana

6.7.1 Výkon potřebný k chlazení

Pro zachlazovací vanu je zapotřebí určit potřebný výkon chladicí jednotky.

Vstupními parametry jsou:

hmotnost největšího odlitku spolu s vtokovou soustavou

$$m_o = 1,9kg$$

požadovaný čas určený ke zchlazení odlitku

$$t = 50s$$

počáteční teplota odlitku

$$T_1 = 350^{\circ}C$$

požadovaná teplota odlitku při vyjmutí z vany

$$T_2 = 40^\circ\text{C}$$

tepelná kapacita hliníku

$$c_H = 896\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

hustota chladicího média, za které byla vybrána voda

$$\rho = 1000\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

tepelná kapacita vody

$$c_V = 4\,180\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Výpočet výkonu chladiče vychází z tepla, které je zapotřebí odvést z nejhmotnějšího odlitku, který je dán konstrukcí licího stroje. Cílem je uchlazit vodu v nádrži při předání tepla z odlitku o teplotě 350°C na teplotu, při které je umožněna manuální manipulace tedy 40°C . Výpočty zanedbávají teplo, které je předáno do okolí stěnami zachlazovací vany a vodní hladiny. Tyto tepelné ztráty byly zanedbány s předpokladem, že teplota vody v nádrži bude mít podobnou teplotu jako okolí, a pokud bude teplota vyšší, pak budou tyto tepelné ztráty chlazení ulehčovat. Dále výpočty obsahují informaci o míře oteplení vody v nádrži na jeden odlitek.

Výpočty:

$$Q = m \cdot c_H \cdot \Delta T \tag{1}$$

$$Q = 1,9.896 \cdot (350 - 40)$$

$$Q = 528\text{ kJ}$$

Výpočet potřebného výkonu pro odvedení tepla za daný čas

$$P = \frac{Q}{t} \tag{2}$$

$$P = \frac{528}{50} = 10,560\text{kW}$$

Objem vany vychází z konstrukčních rozměrů 750x894x894mm a výšky hladiny 100mm pod horní hranou.

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (3)$$

$$V = 0,65 \cdot 0,894 \cdot 0,894$$

$$V = 0,52m^3$$

Hmotnost vody ve vaně

$$m_v = V \cdot \rho \quad (4)$$

$$m_v = 0,52 \cdot 1000$$

$$m_v = 520kg$$

Změna teploty vody ve vaně bez chlazení

$$\Delta T = \frac{Q}{m_v \cdot c_v} \quad (5)$$

$$\Delta T = \frac{528000}{520 \cdot 4180}$$

$$\Delta T = 0,24^\circ C$$

6.7.2 Výpočet sklonu

Vstupními parametry jsou:

Součinitel tření kombinace ocel hliník

$$f_{ocel-hliník} = 0,45$$

hmotnost nejlehčího odlévaného odlitku

$$m_{omin} = 0,5kg$$

délka skluzu

$$A = 1,1m$$

požadovaný čas transportu

$$t = 2s$$

gravitační zrychlení

$$G=9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Je nutné udělat výpočet úhlu potřebného k manipulaci s již zchlazenými odlitky tak, aby byl zajištěn skluz odlitku. Sklon já závislý na hmotnosti odlitku, materiálu kontaktních ploch a požadovaném čase dopravy na dané dráze.

Hmotnost odlitků se pohybuje od 0,5 do 1,9 kg. Čas na manipulaci byl zvolen maximálně na 2s. Dráha odlitku na skluzu je dána jeho konstrukcí a má hodnotu 1,1m. Nejnižší zrychlení odlitku na skluzu bude mít odlitek s nejnižší hmotností, a proto je výpočet spjat s odlitkem o hmotnosti 0,5kg:

Výpočty:

výpočet požadovaného zrychlení

$$\frac{1}{2}at^2 = x \rightarrow a = \frac{2x}{t^2} \quad (6)$$

$$a_o = \frac{2 \cdot 1,1}{2^2} = 0,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

gravitační síla působící na odlitek

$$F_g = G \cdot m \quad (7)$$

$$F_g = 9,81 \cdot 0,5$$

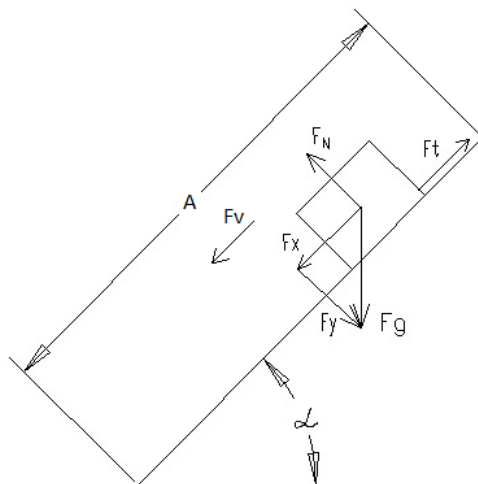
$$F_g = 4,9 \text{ N}$$

Výpočet normálové síly

$$F_N = F_y = F_g \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Výpočet třecí síly

$$F_t = F_N \cdot f \quad (9)$$



Obr. 22. Skluz

Výpočet síly ve směru pohybu

$$F_v = ma = F_x - F_y \quad (10)$$

Výpočet potřebného úhlu skluzu

$$m \cdot a = F_g \cdot \sin \alpha - F_g \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

$$0,5 \cdot 0,55 = 4,9(\sin \alpha - \cos \alpha)$$

Rovnice řešená pomocí programu Excel viz příloha 11. Z výpočtu vyplývá, že je zapotřebí dosáhnout minimálního úhlu skluzu 27 stupňů.

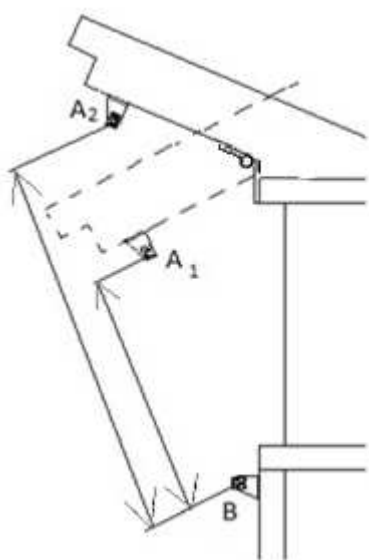
$$\alpha \approx 27^\circ$$

Dále byla započítána 10% bezpečnost. Požadovaná hodnota úhlu sklonu bude 30 stupňů.

6.7.3 Návrh pneumotoru

Jestliže máme vypočten úhel skluzu, můžeme dimenzovat parametry pneumotoru. Parametry, které potřebujeme určit, jsou délka zdvihu a průměr pístu.

Výpočet velikosti zdvihu pneumotoru



Obr. 23. Délka zdvihu

Délka zdvihu je určena geometricky a ilustrativně znázorněna na obr.23. Délka zdvihu pístu je úměrná vzdálenosti upnutí pneumotoru. Je zapotřebí dosáhnout takového stavu, aby úhel skluzu v horní úvrati pístu svíral s rovinou -33 stupňů a v dolní úvrati 30 stupňů. Nyní je zapotřebí vypočítat přesnou polohu uchycení pneumotoru. Při polohování není zapotřebí dosahovat přesné úhly, ale je nutné dosáhnout minimálního úhlu v horní úvrati pohybu.

Jako vhodný typ pneumotoru byla zvolena modelová řada DSNU od firmy FESTO [11].

Délka pneumotoru v horní úvratí s příslušenstvím je přibližně 2,6ti násobkem zdvihu a v dolní úvratí 1,6 násobek zdvihu. Je tedy zapotřebí navrhnout uložení pístu v optimální poloze. Cílem je navrhnout uložení tak, aby pneumotor měl co nejnižší vyvozovanou sílu a tím pořizovací cenu a provozní náklady. Pokud požadujeme dosažení výše stanovených úhlů, má zdvih a uložení právě jedno řešení vycházející z rovnice (13).

Předpoklad výpočtu:

délka pneumotoru ve spodní úvratí vztažené na zdvih

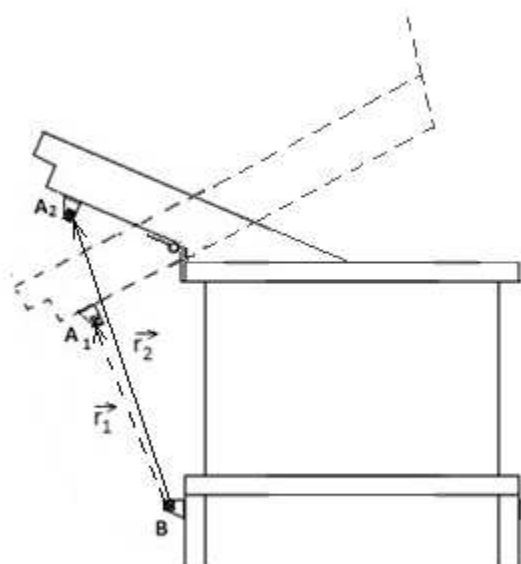
$$r_1 = 1,6z \quad (12)$$

délka pneumotoru v horní úvratí vztažené na zdvih

$$r_2 = 2,6z \quad (13)$$

úhel sevřený hranou skluzu a svislou rovinou při horní úvratí pneumotoru

$$\alpha = 120^\circ$$



Obr. 24. Délka pneumotoru

úhel sevřený hranou skluzu a svislou rovinou při dolní úvratí pneumotoru

$$\beta = 57^\circ$$

vyjádření závislosti délky průvodiče $r_2(r_1)$ z rovnic (12) a (13)

vyjádření závislosti délky průvodiče $r_2(r_1)$ z rovnic (12) a (13)

$$r_2 = r_1 \frac{2,6}{1,6}$$

$$r_2 = 1,625r_1 \quad (14)$$

$$r_1^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\alpha) \quad (15)$$

$$r_2^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\beta) \quad (16)$$

Je zapotřebí řešit tři rovnice (14,15,16) o čtyřech neznámých (r_1, r_2, a, b) . Matematickou úpravou získáme:

$$a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\beta) = 1,625^2(a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\alpha))$$

$$a^2 + a(5,12b \cdot (\cos(\beta) - 1,625 \cos(\alpha))) + b^2 = 0 \quad (17)$$

Rovnice (17) je kvadratickou rovnicí s neznámou **a** a parametrem **b**. Tato rovnice byla řešena za pomoci programu Excel dosazováním za parametr **b** hodnoty odpovídající geometrickým možnostem upnutí. Tedy **b** v rozmezí 460 až 780mm od osy otáčení skluzu a hodnoty **a** v rozmezí 100-180mm. Využitím rovnic (16) a (13) získávám hodnotu potřebného zdvihu pneumotoru.

Výpočet je obsažen v příloze 12.

Volím z přípustných možností variantu s hodnotami:

$$a=135\text{mm}$$

$$b=715\text{mm}$$

$$z=250\text{mm}$$

Ve výpočtu není zohledněno upnutí pneumotoru. Předpoklad, že délka válce je 2,6 násobek zdvihu, není přesný. Nicméně tyto odchylky není třeba kompenzovat, poněvadž není třeba dosahovat přesného polohování úhlů, jak byly stanoveny.

Výpočet potřebného průměru pístu

Ve výpočtu počítám s hmotností nejtěžšího odlitku (s vtokovou soustavou), s hmotností vody, která na počátku brání v pohybu a hmotností skluzu s ohledem na nesymetrickost uložení. Zanedbávám tření v uložení.

hustota oceli

$$\rho_{ocel} = 7850 \frac{kg}{m^3}$$

hmotnost nejtěžšího manipulovaného odlitku včetně vtokové soustavy

$$m_{maxo} = 1,9kg$$

síla vyvolaná tíhovým zrychlením odlitku

$$F_o = m_{maxo} \cdot G \quad (18)$$

$$F_o = 1,9,9,81$$

$$F_o = 19N$$

objem skluzu byl získán z objemové analýzy softwaru PROE:

$$VOLUME = 4.2999553e+06 \text{ MM}^3$$

$$V = 4,30 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = 4,3 \cdot 10^{-3}$$

hmotnost skluzu

$$m_s = \rho \cdot V \quad (19)$$

$$m_s = 7850 \cdot 4,30 \cdot 10^{-3}$$

$$m_s = 33,75 \text{ kg}$$

síla vyvolaná tíhovým zrychlením skluzu

$$F_s = m_s \cdot G \quad (20)$$

$$F_s = 33,75 \cdot 9,81$$

$$F_s = 331N$$

Rozměry skluzu jsou znázorněny na obr.25.

délka skluzu

$$A = 1100 \text{ mm}$$

vzdálenost těžiště odlitku od hrany skluzu

$$B = 140 \text{ mm}$$

vzdálenost hrany skluzu k ose otáčení skluzu

$$C = 225 \text{ mm}$$

úhel natočení skluzu

$$\alpha = 33^\circ$$

Těžiště skluzu bylo zjištěno z analýzy programu PROE.

Těžiště je 536 mm od zadní hrany viz obr. 25.

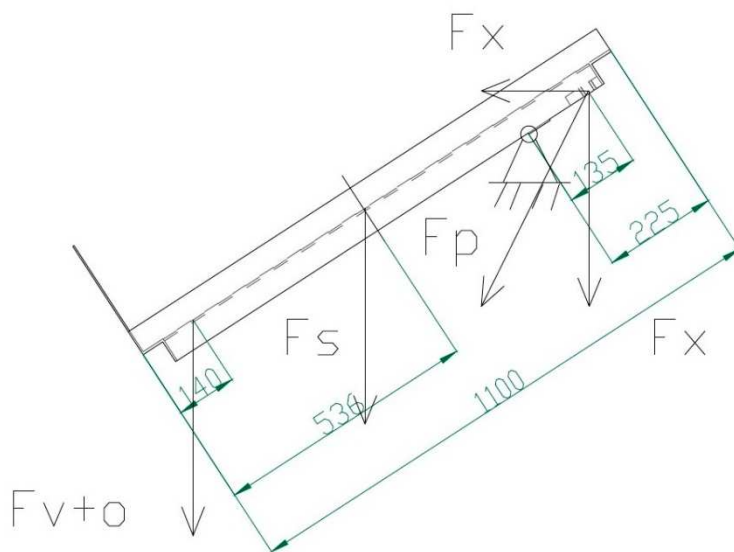
$$D = 536\text{mm}$$

$$V = 0,4216.0,850$$

$$V = 0,358\text{m}^3 \quad (21)$$

Axiální síly ve směru x a y jsou zachyceny uložení. Pro určení potřebné síly pístu je zapotřebí vyřešit momentovou rovnici. Největší síly na píst budou působit ve chvíli rozjezdu, protože na píst působí odpor vody.

Nicméně se neprojeví celková hmotnost vody, protože protéká skluzem. Síla na píst je závislá na úhlu α . Nicméně největší síla bude zapotřebí na počátku zdvihu vzhledem k množství vody na skluzu. Je tedy zapotřebí odhadnout odpor vody. Přepokládáme, že voda bude působit odpor přibližně 10kg ve stejném bodě jako odlitek.



Obr. 25. Působící síly

$$F_{v+o} \cdot \frac{(A-B-C)}{\cos(\alpha^\circ)} + F_s \cdot \frac{(A-C-D)}{\cos(\alpha^\circ)} = F_y \cdot \frac{a}{\cos(\alpha^\circ)} + F_x \cdot \frac{a}{\sin(\alpha^\circ)} \quad (22)$$

$$\sin(33^\circ) = \frac{F_x}{F_y} \quad (23)$$

Úpravou rovnic (18) a (19) získáme jednu rovnici o jedné neznámé.

$$F_y = \frac{F_{v+o} \cdot (A-B-C) + F_s \cdot (A-C-D)}{a + a \cos(\alpha^\circ)} \quad (24)$$

$$F_y = \frac{119 \cdot (1,100 - 0,140 - 0,225) + 331 \cdot (1,100 - 0,225 - 0,535)}{0,135(1 + \cos(33^\circ))}$$

$$F_y = 806N$$

Výpočet síly na píst

$$F_P = \frac{F_y}{\cos(\alpha^\circ)} \quad (25)$$

$$F_P = \frac{510}{\cos(33^\circ)}$$

$$F_P = 961N$$

Tlak přiváděný do pneumotoru

$$p = 6bar$$

Výpočet požadovaného průměru pístu

$$F_P = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p \quad (26)$$

$$D = \sqrt{\frac{4F_P}{p\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.961}{600000\pi}}$$

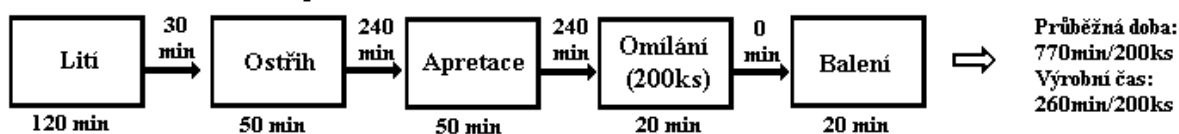
$$D = 0,045m$$

Nyní, když známe sílu na píst a velikost zdvihu, můžeme navrhnout velikost pneumotoru. Vzhledem ke spolupráci firmy POLAK s firmou FESTO, byl vybrán pneumotor a příslušenství právě od firmy FESTO. Byl zvolen pneumotor DSNU-50 o zdvihu 250mm. Vana bude také vybavena oky pro manipulaci za použití jeřábu. Výkresy zachlázovací vany jsou obsahem přílohy 10.

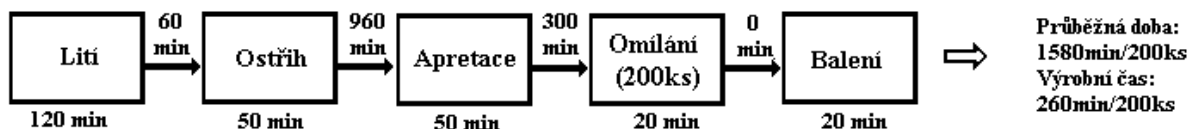
6.8 Vyhodnocení zkušebního provozu

Obr. 27., který vychází z obr. 6. je rozšířen o "Průměrná doba nového procesu", která byla naměřena u stejného výrobku na nové lince.

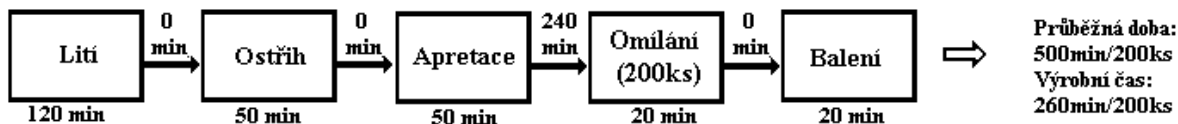
Teroretická doba starého procesu



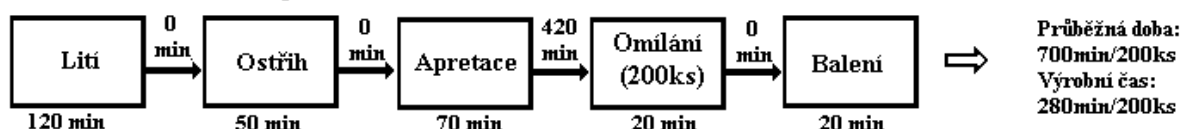
Průměrná doba strého procesu



Teroretická doba nového procesu



Průměrná doba nového procesu



Obr. 27. Schéma časové náročnosti u nového procesu

Na diagramu je názorně vidět, že průběžná doba výroby se v novém provozu zkrátila o 55% u průměrné doby. Tento výsledek je velmi příznivý. Nicméně u starého výrobního procesu mohlo dojít k nestandardním prodloužením průběžné doby. Na druhou stranu u nového procesu došlo k prodloužení čekací doby před technologií omílání. Tato doba je závislá na více faktorech, poněvadž omílací stroj je společný pro všechny licí stroje.

Negativním výsledkem tohoto procesu je prodloužení výrobního času u nového procesu. Toto prodloužení zapříčinilo pokles produktivity práce o 14% u pracovníka, který prováděl ostřih a apretaci.

6.8.1 Praktické problémy

Při zkušebním provozu se vyskytly některé nedostatky, se kterými je zapotřebí se vypořádat.

V rámci provozu se ukázalo, že stolek pro KLT z bodu 4. 2. dělníci nepoužívají a raději si skládají KLT přepravky na sebe, čímž si polohují výšku sami.

U zachlazovací vany se vyskytlo riziko kolize ok pro jeřáb a manipulátoru vyjímající odlitky z licího stroje.

Dalším problémem bylo to, že při upuštění odlitku se odlitek v některých případech postavil na hranu a zasekl se na skluzu. Znamenalo to buď porušit bezpečnost práce a odlitek uvolnit, nebo licí stroj zastavit a poté odlitek uvolnit.

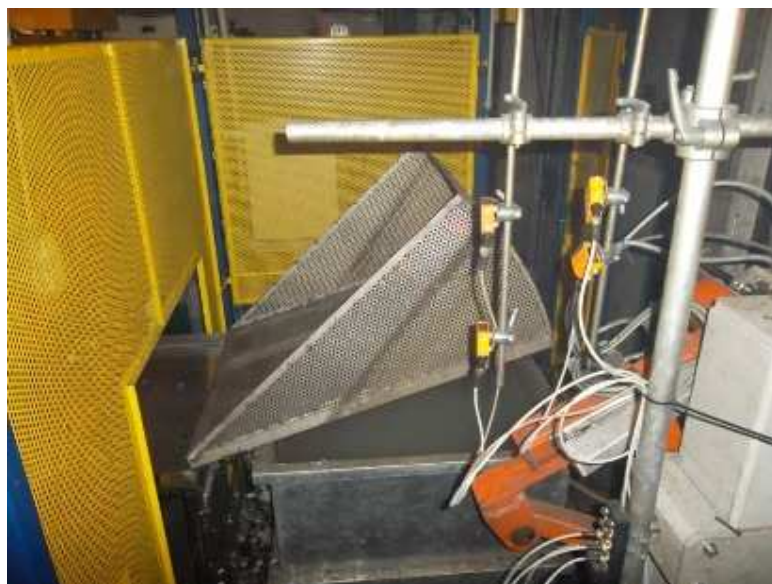
6.9 Odstranění nedostatků zjištěných při zkušebním provozu

Stolek pro odkládání KLT přepravek se tedy přestal využívat. Přepravky se začaly umisťovat na podstavce s kolečky. Tyto podstavce usnadňují manipulaci a zároveň ruší potřebu paletového vozíku. Toto řešení je vidět na obr.28.

Nebezpečí kolize bylo vyřešeno odstraněním ok na jedné straně zachlazovací vany. Problémy se zasekáváním odlitků byly odstraněny změnou konstrukce skluzu zachlazovací vany, respektive zvýšením a přetvarováním bočnic zachlazovací vany, jak je patrné při srovnání obr. 21. a obr. 29.



Obr. 28. Manipulační vozík



Obr. 29. Realizovaná vana

7 Závěr

Cílem práce bylo zefektivnění výroby výrazným zkrácením prostojů ve výrobním procesu a lepším využitím pracovního času zaměstnanců. Tohoto bylo dosaženo vytvořením návrhu a realizace licí buňky, která sdružila několik do té doby oddělených činností do jednoho celku. V ideálním případě mělo dojít k provedení všech potřebných dokončovacích operací včetně výstupní kontroly v prostoru licí buňky a to vše v taktu licího stroje. Poté následuje již jen zabalení a expedice, čímž došlo k výraznému zefektivnění výroby.

Pro vytvoření licí buňky bylo nezbytné nejprve vytvořit analýzu, která ukázala, zdali jsou činnosti potřebné k úpravě odlitku zvládnutelné v taktu stroje, což byl prvotní předpoklad dobrého fungování konceptu licí buňky. Tímto došlo k rozčlenění odlitků do dvou skupin. První skupinou byly výrobky, které měly čas pro úpravu do konečného stavu příliš dlouhý a tím se pro projekt licí buňky nehodily. Těmito odlitky se práce nezabývala a jejich výroba pokračovala původním způsobem, tak jak je popsáno v bodu 6.2 *Popis současného stavu*. Druhou skupinou výrobků byly ty, které již byly vhodné k začlenění do okruhu licí buňky vzhledem k délce času potřebného ke zhotovení dokončovacích prací. Přičemž podkladem byl technologický předpis jednotlivých výrobků obsahující normovaný čas pro jednotlivé operace.

Vzhledem k rozmanitosti odlitků, a to jak do velikosti, složitosti a požadovaných operací na nich prováděných, bylo zapotřebí nadimenzovat jednotlivé pracovní stanice takovým způsobem, aby vyhovoval pracovní prostor i výrobní prostředky. Z důvodu rozmanitosti odlitků také vznikla potřeba možnosti přestavení pracovních stanic. Dále bylo zapotřebí určit k jednotlivým výrobkům množství pracovníků takovým způsobem, aby i operace přesahující časovou náročností licí takt stroje, byly v licí buňce zvládnutelné.

Pro licí buňku bylo nezbytné navrhnout zachlazovací vanu sloužící k chlazení automaticky vyjímaných odlitků. Tato vana umožnila ruční manipulaci s odlitky v krátké době po odlití. Pro návrh vany bylo nutné navrhnout její rozměrové parametry včetně konstrukce, vyjímací mechanismus, nadimenzovat chladicí zařízení a pohonné systémy.

Po zhotovení licí buňky a zkušebním provozu bylo uděláno vyhodnocení činnosti, a to za účelem odhalení nedostatků a jejich následné odstranění. Při vyhodnocení byly zjištěny drobné nedostatky nebo možnosti zlepšení, které byly realizovány.

Koncept licích buněk je rozšiřitelný i na další stroje. Ke každému stroji by se muselo přistupovat individuálně, ale tato práce by se dala využít jako šablona pro návrh. Každý stroj ač má jiný stupeň automatizace má vždy značný podíl manuální práce, a tak by licí buňka u těchto strojů měla smysl. Nejdůležitější otázkou je, jak by dopadla analýza vhodných výrobků a analýza zaměřující se na produktivitu práce u těchto strojů.

Nicméně je rozšíření nepravděpodobné vzhledem k tomu, že po tříměsíčním provozu přišlo rozhodnutí vlastníka o jiném řešení. Bylo rozhodnuto o přemístění a přeorganizování původního způsobu apretace odlitků. Tedy zpětné vytvoření centrálního apretačního pracoviště. Nepříznivé jevy s tím spojené se pokusí řešit pružnější zaměstnaneckou politikou.

Nicméně zachlázovací vana je využívána a i umístění ostříhu k jednotlivým strojům vytváří trvalé zlepšení situace ve srovnání s počátečním stavem.

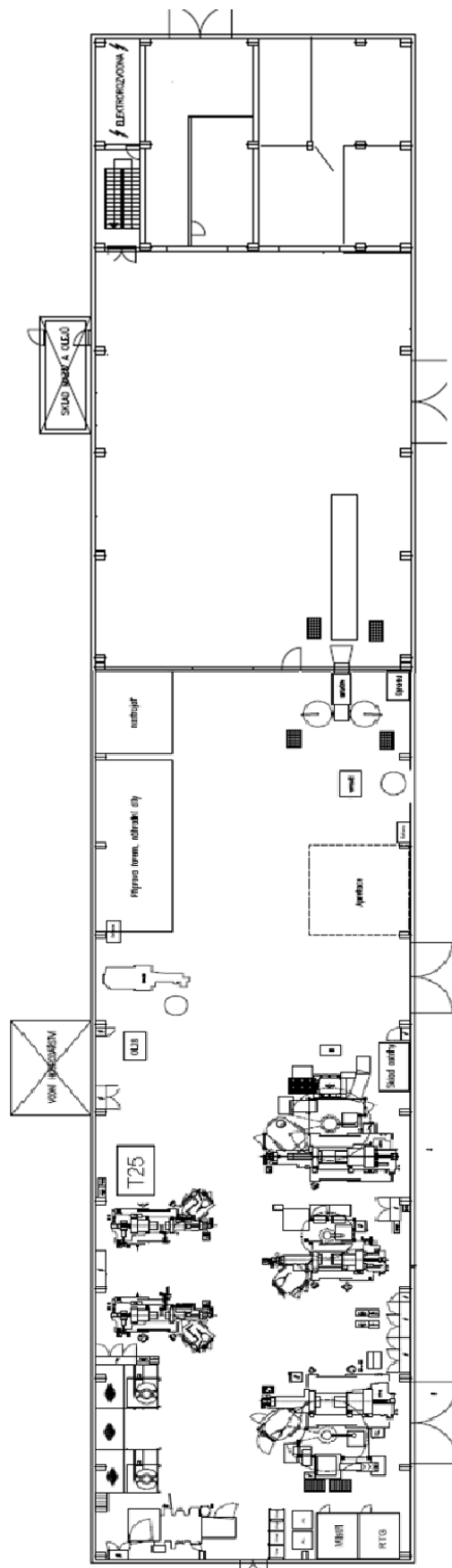
8 Seznam literatury

- [1] Ragan, E.: Liatie kovov pod tlakom. Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove., 2007, ISBN 978-80-8073-979-9
- [2] Sixta, J.: Logistika : používané metody. Computer Press, a.s., 2009, ISBN 978-80-251-2563-2
- [3] Sixta, J.: Logistika : teorie a praxe. Computer Press, a.s., 2005, ISBN 80-251-0573-3
- [4] Horáková, H.: Řízení zásob : Logistické pojetí, metody, aplikace, praktické úlohy. Profess Consulting, 1999, ISBN 80-85235-55-2
- [5] Roučka, J.: *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6
- [6] Požar, J. Moderní metody výroby součástek metodami liti s krystalizací pod tlakem a tvaření v polotuhém stavu. *Slévárenská ročenka*, 2000. 167 s.
- [7] <http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-tlakoveho-liti.html>
- [8] http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/progresivni_technologie_odlevani.pdf
- [9] Firemní katalogy a podklady.
- [10] <http://www.tbaplast.cz/klt-boxy.html>
- [11] http://www.festo.com/cms/cs_cz/14151.htm

9 Seznam příloh

počet stran

Příloha č.1 - <i>Schéma původního rozložení strojového parku</i>	1
Příloha č.2 - <i>Průměrný čas lití</i>	Excel soubor na CD
Příloha č.3 - <i>Průměrný čas dokončovacích operací</i>	Excel soubor na CD
Příloha č.4 - <i>Operace prováděné na odlitcích</i>	Excel soubor na CD
Příloha č.5 - <i>Produktivita výroby daných odlitků</i>	Excel soubor na CD
Příloha č.6 - <i>Výkresy univerzálního stolu</i>	3xA3, 2xA4
Příloha č.7 - <i>Výkresy stolul pro zachycení odlitků</i>	1xA3
Příloha č.8 - <i>Výkresy odkládací plochy</i>	3xA3
Příloha č.9 - <i>Výkresy stolku pro KLT</i>	3xA3
Příloha č.10 - <i>Výkresy zachlazovací vany</i>	4xA3
Příloha č.11 - <i>Výpočet úhlu sklonu skluzu</i>	1
Příloha č.12 - <i>Výpočet zdvihu pneumotoru</i>	2



α	0,275/4,9	$(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)$
0	0,0561	-0,4500
1	0,0561	-0,4325
2	0,0561	-0,4148
3	0,0561	-0,3970
4	0,0561	-0,3791
5	0,0561	-0,3611
6	0,0561	-0,3430
7	0,0561	-0,3248
8	0,0561	-0,3064
9	0,0561	-0,2880
10	0,0561	-0,2695
11	0,0561	-0,2509
12	0,0561	-0,2323
13	0,0561	-0,2135
14	0,0561	-0,1947
15	0,0561	-0,1758
16	0,0561	-0,1569
17	0,0561	-0,1380
18	0,0561	-0,1190
19	0,0561	-0,0999
20	0,0561	-0,0808
21	0,0561	-0,0617
22	0,0561	-0,0426
23	0,0561	-0,0235
24	0,0561	-0,0044
25	0,0561	0,0148
26	0,0561	0,0339
27	0,0561	0,0530
28	0,0561	0,0721
29	0,0561	0,0912
30	0,0561	0,1103
31	0,0561	0,1293
32	0,0561	0,1483
33	0,0561	0,1672
34	0,0561	0,1861
35	0,0561	0,2050
36	0,0561	0,2237
37	0,0561	0,2424
38	0,0561	0,2611
39	0,0561	0,2796
40	0,0561	0,2981

	A	B	C	Diskriminant
b		$1,22b \cdot (\cos \beta - 2,64 \cos \alpha)$	b.b	odm.(B.B-4AC)
460	1	-2529,126	211600	2355,861
480	1	-2639,088	230400	2458,289
500	1	-2749,050	250000	2560,718
520	1	-2859,012	270400	2663,147
540	1	-2968,974	291600	2765,575
560	1	-3078,936	313600	2868,004
580	1	-3188,898	336400	2970,433
600	1	-3298,860	360000	3072,862
640	1	-3518,784	409600	3277,719
660	1	-3628,746	435600	3380,148
680	1	-3738,708	462400	3482,576
685	1	-3766,199	469225	3508,184
690	1	-3793,689	476100	3533,791
695	1	-3821,180	483025	3559,398
700	1	-3848,670	490000	3585,005
705	1	-3876,161	497025	3610,612
710	1	-3903,651	504100	3636,219
715	1	-3931,142	511225	3661,827
720	1	-3958,632	518400	3687,434
725	1	-3986,123	525625	3713,041
730	1	-4013,613	532900	3738,648
735	1	-4041,104	540225	3764,255
740	1	-4068,594	547600	3789,863
745	1	-4096,085	555025	3815,470
750	1	-4123,575	562500	3841,077
755	1	-4151,066	570025	3866,684
760	1	-4178,556	577600	3892,291
780	1	-4288,518	608400	3994,720

kořen a1	kořen a2	zdvih
$(-B + \text{odm.}(B.B - 4AC))/2A$	$(-B - \text{odm.}(B.B - 4AC))/2A$	$(a.a + b.b - 2ab.\cos \alpha)/1,6$
2442,493	-86,633	161,216
2548,689	-90,399	168,225
2654,884	-94,166	175,235
2761,079	-97,933	182,244
2867,275	-101,699	189,254
2973,470	-105,466	196,263
3079,665	-109,233	203,272
3185,861	-112,999	210,282
3398,252	-120,533	224,300
3504,447	-124,299	231,310
3610,642	-128,066	238,319
3637,191	-129,008	240,072
3663,740	-129,949	241,824
3690,289	-130,891	243,576
3716,838	-131,833	245,329
3743,386	-132,774	247,081
3769,935	-133,716	248,833
3796,484	-134,657	250,586
3823,033	-135,599	252,338
3849,582	-136,541	254,090
3876,131	-137,482	255,843
3902,680	-138,424	257,595
3929,228	-139,366	259,347
3955,777	-140,307	261,100
3982,326	-141,249	262,852
4008,875	-142,191	264,604
4035,424	-143,132	266,357
4141,619	-146,899	273,366